ENDEAVOUR

Revue trimestrielle, publiée en cinq langues et destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain

VOLUME XVIII Avril 1959 NUMÉRO 70

SOMMAIRE

070.432:92:541.13
Article de Tête: Svante Arrhenius (1859–1927) 59

551.594.2
La foudre — D. J. MALAN, D.Sc., F.R.S.S.Af. — 61

541.2(091):92
A. F. de Fourcroy et la théorie antiphlogistique — W. A. SMEATON, Ph.D., A.R.C.S., F.R.I.C. — 70

551.481.26:581.526.522
Marais salins — J. A. STEERS, M.A. — 75

544.65:535.372
L'analyse chimique par spectroscopie de fluorescence des rayons X — E. T. HALL, M.A., D.Phil. — 83

061.22(100):5
Le Conseil International des Unions Scientifiques — SIR HAROLD SPENCER JONES, K.B.E., M.A., Sc.D., D.Phil., Ll.D., F.R.S., F.R.S.E. — 88

591.485:599.5
L'audition chez les cétacés — F. C. FRASER, D.Sc., F.L.S. et P. E. PURVES — 93

550.341:551.16
La structure interne de la Terre révélée par les séismes — I. LEHMANN, Cand. Mag., Mag. Scient., A.R.A.S. — 99

049.3
Revue des livres 106

Brèves notices bibliographiques 111

Notes biographiques sur les collaborateurs 112

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Rédacteurs adjoints: G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E. (*Pour les éditions étrangères*)
W. A. OSMAN, B.Sc., M.Sc., A.R.C.S.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Svante Arrhenius (1859–1927)

La légende persiste selon laquelle les études scientifiques sont purement objectives et logiques, la personnalité du savant n'y jouant aucun rôle. Les chercheurs savent cependant — souvent par pénible expérience — combien il est malaisé de faire accepter des idées nouvelles, et l'histoire de la science offre d'innombrables exemples d'importantes théories qui n'ont été établies qu'en dépit d'une résistance âpre et ignorante. Peu d'exemples en sont plus frappants que celui de Svante Arrhenius dont on célèbre cette année le centième anniversaire. Il fut un des plus grands savants suédois, d'une envergure comparable à celle de Linné et de Berzélius; sa théorie de la nature des solutions d'électrolytes fut d'abord présentée dans une thèse qui lui valut — après longue discussion entre ses examinateurs — un diplôme de docteur de 4e classe à l'Université d'Upsal, grade tellement inférieur que, normalement, il ne lui aurait pas permis d'y exercer comme privat-docent. Cependant, ces idées, amplifiées, mais inchangées quant au fonds, furent reconnues, avec le temps, comme tellement importantes qu'elles firent de lui le troisième lauréat du Prix Nobel de chimie, et le directeur du célèbre laboratoire créé en son honneur.

Arrhenius, qui tire son nom du village d'Ärena où avaient vécu ses aïeux, naquit le 19 février 1859 à Vik; son père était gérant de propriétés foncières. L'année suivante la famille alla s'établir à Upsal où Arrhenius fut mis à l'école épiscopale. A l'âge de 17 ans, il entra à l'Université d'Upsal. Le début de sa carrière académique y fut distingué: il devint admissible exceptionnellement tôt aux études de doctorat. Il avait d'abord projeté de travailler sous P. T. Cleve, spécialiste des terres rares, mais y renonça quand son attention se tourna vers les études théoriques auxquelles Cleve ne s'intéressait guère. Il alla donc, en 1881, à Stockholm travailler avec E. Edlund, alors professeur de physique à l'Académie des sciences suédoise. L'intérêt qu'il prenait à la physique fut sans doute stimulé du fait que le directeur de l'école épiscopale était un excellent maître en cette matière.

Après quelques travaux préliminaires sur les tensions aux éclateurs, il orienta son attention vers la conductivité électrique des solutions. Les propriétés des solutions éveillaient alors un intérêt considérable. Van't Hoff développait ses idées révolutionnaires concernant l'analogie existant entre les substances dissoutes et les gaz, Kohlrausch mesurait les conductivités électrolytiques et Raoult imaginait des méthodes pour mesurer les poids moléculaires des corps en dissolution. Clausius et Williamson méditaient déjà sur la possibilité de la dissociation en solution. La théorie des solutions préoccupait de nombreux chimistes compétents. C'est à Arrhenius qu'échut l'honneur de fixer la pensée contemporaine en une théorie générale importante. La parenté de ces idées avec celles de Van't Hoff était un indice particulièrement important, car elles se complétaient quasiment sur chaque point.

Sa première étude importante eut pour objet de découvrir une méthode pour déterminer les poids moléculaires des substances non-volatiles, telles que le sucre, en mesurant la diminution qu'elles apportent à la conductivité des solutions salines. Mise à l'épreuve, cette méthode se révéla sans valeur, mais elle l'amena à une étude minutieuse sur la conductivité des solutions salines en général. Il y a deux points fondamentaux que doit élucider toute théorie des électrolytes. L'un est que certains électrolytes produisent des solutions d'une forte conductivité, alors que d'autres n'en produisent que d'une conductivité très réduite. L'autre est que la conductivité de tous les électrolytes augmente à mesure que la dilution devient plus complète. Arrhenius résolut le problème de façon très simple. Il posa en axiome que tous les électrolytes se dissocient en cours de solution en ions positivement ou négativement chargés et — contrairement à ce que pensaient ses prédécesseurs — que ces ions existent dans la solution même lorsque celle-ci n'est traversée par aucun courant électrique. Il était convaincu que les électrolytes forts se dissocient en grande partie en ions (nous considérons aujourd'hui cette dissociation comme totale) et que ce processus est relativement moindre pour les électrolytes faibles. Pour tous les électrolytes, le degré de dissociation augmente avec la dilution.

Comme on l'a vu, les idées exprimées dans la thèse de doctorat qu'il soumit en 1883 à Upsal faillirent mettre un terme à la carrière académique d'Arrhenius. A ce stade, cependant, Arrhenius n'a pas encore perfectionné la théorie qu'on associe aujourd'hui à son nom. Il comprend que des électrolytes en solution existent partiellement sous une forme active (conductrice) et partiellement sous une forme inactive, mais il ne donne

aucune précision à ce sujet, rien d'explicite non plus quant à la dissociation, bien qu'elle soit implicitement contenue dans sa thèse.

Par bonheur, les opinions de ses professeurs ne découragèrent pas entièrement Arrhenius. Il adressa des exemplaires de sa thèse à un certain nombre de chimistes marquants de l'époque, entre autres, à Wilhelm Ostwald, alors professeur de chimie à Riga. Celui-ci, vivement intéressé, se rendit à Upsal pour discuter la question avec Arrhenius en personne. Il advint de cette visite qu'Arrhenius obtint un emploi subalterne à Upsal, résultat indubitable de l'offre que lui fit Ostwald de le faire nommer privat-docent à Riga, et ceci fut suivi en 1885 d'une bourse de voyage de cinq années accordée par l'Académie des sciences suédoise, lui permettant d'accomplir des voyages considérables en Europe et de collaborer avec des hommes distingués tels que Van't Hoff, Ostwald, Boltzmann et Kohlrausch, qui travaillaient tous dans le même domaine. Pendant ce temps, ses idées se clarifièrent et sa théorie de la dissociation ionique des électrolytes se perfectionna. L'année 1887 semble avoir été son année critique. C'est alors qu'Arrhenius vit pour la première fois le mémoire de Van't Hoff, publié l'année précédente, dans lequel celui-ci exprime la pression osmotique des solutions par la formule $PV = iRT$. Arrhenius eut tôt fait d'identifier le facteur i comme étant la mesure de la dissociation de la solution en ions. Van't Hoff partagea cet avis et les deux hommes publièrent leurs conclusions en 1887 dans le premier volume du *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Arrhenius établit un rapport entre son degré de dissociation α et le facteur i de Van't Hoff par l'équation $i = 1 + (k - 1)\alpha$ où k représente le nombre d'ions en lesquels se dissocie la molécule d'électrolyte. L'approbation d'Ostwald et son grand prestige parmi les chimistes aidèrent puissamment à faire accepter la nouvelle théorie.

Celle-ci, néanmoins, se heurta à une violente opposition dans certains milieux. Les chimistes d'alors n'étaient pas prêts à accepter l'idée que dans une solution aqueuse de sel ordinaire, par exemple, le sodium, qui dans son état naturel réagit violemment au contact de l'eau, puisse exister indépendamment du chlore. L'opposition aboutit à une crise en 1890. Cette année-là l'Association britannique pour l'Avancement des Sciences, réunie à Leeds, organisa un débat sur les «théories des solutions» auquel furent invités Ostwald, Van't Hoff, et Arrhenius. Les deux premiers prirent personnellement part à la discussion et Arrhenius envoya un mémoire. L'opinion orthodoxe fut énergiquement soutenue, mais vers la fin de la réunion il ne subsistait aucun doute que les nouvelles idées l'emportaient. Grâce à la justification de sa théorie, les affaires d'Arrhenius prirent une meilleure tournure, quoiqu'il fût, à son grand regret, encore très méconnu dans son propre pays auquel il était profondément attaché. La chaire de chimie à Giessen lui fut offerte en 1891 mais il opta pour une maîtrise de conférences à l'Université Technique de Stockholm. Ce poste ayant été converti en une chaire de professeur en 1895, Arrhenius n'y fut nommé qu'après beaucoup de résistance et cela, grâce à l'absence de tout autre candidat convenable. Un an plus tard, cependant, il devint Recteur. En 1903, il remporta le prix Nobel de chimie.

En 1905, la perspective du départ d'Arrhenius de Suède pour aller rejoindre Van't Hoff en Allemagne amena l'Académie suédoise à fonder l'Institut Nobel de Chimie Physique à la place des deux instituts précédemment projetés, l'un de chimie et l'autre de physique. Cette décision indique jusqu'à quel point il avait associé ces deux domaines importants de la science. Nommé Directeur de l'Institut en 1909, à l'âge de 50 ans, Arrhenius y resta presque jusqu'à sa mort, survenue en 1927.

Ses dernières recherches s'étendirent sur un vaste champ, allant de la physique cosmique à la glaciologie, de l'immuno-chimie à la viscosité. Au cours de ces recherches il fut puissamment aidé par ses vastes connaissances, sa mémoire remarquable et sa capacité de percevoir une relation entre des faits n'ayant apparemment entre eux aucun rapport. De plus, il avait le don des langues, ce qui lui permit d'échanger des vues, avec une rare facilité, avec ses collègues d'autres pays. Il reconnaissait cependant que c'était là un don heureux qui n'était pas très répandu, et préconisa l'emploi d'une langue universelle basée sur l'anglais. Sa réputation comme vulgarisateur scientifique était bien établie et ses nombreux livres furent traduits en plusieurs langues.

Ses derniers travaux sont loin d'être négligeables, mais c'est sa théorie des solutions qui est son meilleur titre à une gloire durable. Outre l'importance intrinsèque de ses découvertes — dans l'industrie chimique, par exemple — dont il n'y a pas lieu de souligner la portée, le récit de sa carrière démontre avec force qu'il est indispensable sans doute que les idées nouvelles soient soumises à une critique minutieuse avant d'être acceptées, mais à la condition que celle-ci soit objective.

La foudre

par D. J. MALAN

La foudre a été étudiée systématiquement dès le XVIIIe siècle, mais il fut impossible d'en comprendre les phénomènes jusqu'à une époque récente où l'on a pu disposer de caméras ultra-rapides et d'oscillographes cathodiques. Ces appareils, et quelques-uns des résultats qu'ils ont permis d'obtenir sont passés en revue dans cette étude des aspects les plus importants de l'électricité atmosphérique.

La première étude systématique de l'électricité des orages remonte au milieu du XVIIIe siècle, quand Benjamin Franklin montra que la foudre était une étincelle électrique et qu'une décharge vers le sol impliquait généralement l'électricité négative. Bien que les expériences de Franklin aient été refaites et confirmées, il n'y eut pas de progrès importants dans la connaissance de la foudre jusqu'à notre siècle: un éclair consiste en effet en une série de phénomènes très rapides et c'est le développement de nouvelles techniques expérimentales qui allait permettre le progrès de nos connaissances. Seules des méthodes utilisant la photographie ultra-rapide et l'oscillographe à rayons cathodiques pouvaient donner la résolution très élevée de temps nécessaire.

Les travaux classiques de C. T. R. Wilson et de son école, à partir de 1916, ouvrent une nouvelle ère de découvertes dans le domaine de l'électricité atmosphérique. Appleton, Watson-Watt et Herd en Angleterre, et Norinder en Suède, furent les premiers à utiliser les oscillographes à rayons cathodiques pour l'étude des composantes rapides des variations du champ électrique provoquées par les coups de foudre. Sur ces entrefaites, C. V. Boys [1] avait inventé une ingénieuse caméra ultra-rapide qui fut utilisée avec un succès remarquable en Afrique du Sud par B. F. J. Schonland et ses collaborateurs. Ceux-ci obtinrent d'importants renseignements sur le mécanisme de rupture électrique dans l'éclair.

Les premières découvertes suscitèrent dans le monde entier un intérêt nouveau pour les recherches sur la foudre et les problèmes qui s'y rattachent: propagation des parasites, radiogoniométrie pour localiser les orages à distance, protection des avions et des réseaux électriques contre les dégâts provoqués par la foudre, et météorologie des nuages orageux. Ces études et d'autres se poursuivent encore. Les appareils et les techniques ont été améliorés et l'invention du radar a donné aux chercheurs un nouvel instrument puissant pour étudier l'intérieur des nuages orageux.

L'apparition aléatoire des orages limite les occasions favorables à l'observation; d'autre part les résultats de l'étude directe au laboratoire ne peuvent être que partiels car il est impossible de reproduire à échelle réduite les conditions régnant dans de grands nuages orageux. Il pouvait sembler que les observations aériennes allaient apporter de nombreux renseignements sur les décharges à l'intérieur de ces nuages. Toutefois, la foudre est un phénomène tellement bref que la probabilité pour qu'un avion, volant à grande vitesse, traverse la partie intéressante du nuage au bon moment est plutôt faible; même si cela arrivait, seul un volume relativement petit de toute la région intéressée par la décharge pourrait être exploré. Les observations aériennes ont néanmoins fourni des renseignements utiles sur les courants aériens, les températures et la répartition des phases solide et liquide de l'eau dans les différentes parties d'un nuage orageux. Ces renseignements sont essentiels pour la découverte du processus, ou de la combinaison des processus, entraînant la formation d'électricité dans le nuage.

Il y a trois principaux types de foudre: éclairs vers le sol, décharges aériennes et éclairs «de nuages». Les éclairs vers le sol sont des décharges entre le nuage et le sol. Ils présentent une ramification abondante dirigée de haut en bas. L'altitude de la base du nuage est comprise entre 1 et 2 kilomètres, mais la longueur totale de la trace visible de l'éclair vers le sol peut être plus grande, du fait de son trajet tortueux. Les décharges aériennes sont des éclairs qui partent d'un nuage et qui au lieu d'atteindre le sol se terminent sur des charges spatiales dans l'air. Les décharges aériennes, se propageant horizontalement sous la base du nuage, ont parfois une longueur de plus de 16 km. Les éclairs de nuages, appelés vulgairement éclairs diffus, sont des décharges entre des

centres chargés répartis à l'intérieur des nuages. Ces décharges provoquent une illumination diffuse du nuage et le trajet suivi par la décharge est rarement visible.

Des recherches récentes au radar ont révélé que les décharges à l'intérieur de larges bancs de nuages s'étendent souvent sur 50 km et parfois même 150 km [2]. Dans ce type d'éclair de nuages, l'illumination semble se propager d'une extrémité du long banc de nuages vers l'autre extrémité. On pensait autrefois que des centres chargés complètement distincts et isolés dans le nuage étaient déchargés successivement par l'action de déclenchement des effets photoélectrique et électrostatique de la décharge précédente, mais les observations au radar ont montré que la décharge est continue.

PHOTOGRAPHIE ULTRA-RAPIDE

Hoffert en 1890 et Walter en 1903 utilisaient simplement le balancement d'un appareil ordinaire de part et d'autre d'un axe vertical pour étudier la structure des éclairs. Ils purent montrer qu'un éclair vers le sol consistait en une série de décharges se suivant à intervalles le long d'un même trajet et ils purent détecter une prédécharge avant le premier coup. Un tel appareil ne pouvait donner que des résultats qualitatifs. L'appareil de Boys qui en est un très grand perfectionnement, a joué un rôle si important dans l'étude des éclairs qu'une brève description en sera donnée avant de discuter les résultats obtenus.

La figure 3 montre la combinaison des appareils utilisés en Afrique du Sud par B. F. J. Schonland, D. J. Malan et H. Collens [3]. Le grand appareil au centre est l'appareil de Boys. Il porte deux objectifs, diamétralement opposés, montés sur un disque circulaire qui tourne à grande vitesse, sous l'action d'une courroie, quand la grande poulie gauche tourne.

Examinons ce qui se passe quand on photographie un éclair partant d'un nuage et progressant verticalement en direction du sol. A chaque instant, les lentilles de l'appareil de Boys se déplacent dans des directions opposées. Ainsi si les lentilles sont opposées horizontalement à l'instant où commence l'éclair, une lentille va se déplacer vers le bas et l'autre vers le haut. La lentille se déplaçant vers le bas, dans le sens de la progression de la décharge, allonge l'image photographique d'une longueur égale à la distance parcourue par la lentille durant le temps mis par la décharge pour progresser vers le sol. Réciproquement, l'autre lentille raccourcit l'image de la même longueur. Le temps mis par la décharge pour atteindre le sol peut ainsi être obtenu en divisant la différence des longueurs des images par le double de la vitesse linéaire des lentilles.

Si les lentilles occupent une autre position au départ de la décharge, une lentille se déplacera vers la droite et l'autre vers la gauche, si bien que les images de l'extrémité de l'éclair seront déformées respectivement vers la droite et vers la gauche. La mesure de ces distorsions permet de dresser un tableau de marche indiquant l'avance de l'éclair et de déterminer sa direction. Les lentilles des appareils représentés sur la figure 3 tournent à 50 tours par seconde et permettent de mesurer des intervalles avec une précision de quelques microsecondes.

Les appareils sont généralement utilisés la nuit, si bien que les obturateurs des objectifs peuvent rester ouverts en attendant l'éclair. Des photographies peuvent aussi être prises à la lumière du jour en utilisant la perturbation produite sur un poste récepteur au début de l'éclair pour déclencher un relais qui ouvre l'obturateur de l'appareil pour un temps préréglé. D'autres appareils ont été conçus en vue d'obtenir, à la place du mouvement circulaire, un mouvement linéaire des objectifs par rapport à la pellicule, car les résultats sont alors plus faciles à interpréter. Ces appareils ont été très utiles pour étudier les composantes lentes des éclairs.

Quand un éclair comporte plusieurs décharges consécutives, les objectifs de l'appareil de Boys effectueront plus d'un tour durant la décharge, de sorte qu'il est impossible de relever sur la photographie l'ordre de succession des décharges. Le petit appareil vu en haut de la figure 3 est conçu pour surmonter cette difficulté. La construction est semblable à celle de l'appareil principal de Boys, mais il ne comporte qu'un seul objectif sur son disque, qui est ralenti par un jeu de courroies et poulies pour ne tourner qu'à un tour par seconde. Comme la plupart des éclairs durent moins d'une seconde, les images des décharges successives se succéderont dans l'ordre chronologique sans se chevaucher. Connaissant le rapport des vitesses des appareils, il est facile de relier les décharges photographiées par l'appareil rapide à celles photographiées par l'appareil lent. Le troisième appareil, à droite sur la figure 3, est un appareil ordinaire destiné à obtenir une image immobile de l'éclair. La figure 2(*a*, *b*) montre une série de photographies, obtenues respectivement avec les appareils lent et rapide de la figure 3, d'un éclair

composé de sept décharges se succédant dans l'ordre 1–7.

RÉSULTATS DES ÉTUDES PHOTOGRAPHIQUES

Comme nous l'avons déjà dit, les éclairs vers le sol peuvent consister en plusieurs décharges successives suivant le même parcours. A Johannesbourg, 50 pour cent de tous les éclairs avaient plus de quatre décharges et des éclairs de vingt décharges n'étaient pas rares. En Angleterre par contre, la plupart des éclairs n'ont qu'une décharge, la différence étant évidemment due à la plus grande activité des orages tropicaux. Généralement, seule la première décharge présente des ramifications (figure 2, décharge 1). L'intervalle de temps le plus fréquent entre décharges est de 30 à 50 millisecondes.

Chaque décharge est double. Une décharge faiblement lumineuse, appelée flèche lumineuse de pointe, part d'abord de la base du nuage et progresse de haut en bas. Quand elle arrive près du sol elle est rejointe par une décharge très brillante et très intense, appelée décharge de retour, qui jaillit du sol et se propage vers le haut à grande vitesse le long du chemin précédemment tracé par la flèche.

La première flèche déclenche la rupture électrique entre la base du nuage et le sol et par là même n'a pas de chemin tracé à travers l'air. Les photographies ultra-rapides montrent qu'elle avance rapidement sur une distance d'environ 20 m, puis paraît s'arrêter. Après un intervalle d'environ 50 microsecondes, elle s'avance de 20 m à nouveau sous forme d'une décharge relativement brillante et s'arrête à nouveau. Cette progression intermittente par paliers se répète jusqu'à ce que la flèche atteigne finalement le sol, au moment où part la décharge de retour brillante. Les chiffres cités représentent des valeurs moyennes [3].

La figure 4 montre une photographie, réalisée avec l'appareil de Boys, d'une telle flèche en paliers. Les objectifs tournent de droite à gauche et les paliers de la flèche sont visibles à droite de la décharge de retour, dont l'image est considérablement élargie, car sa luminosité dure beaucoup plus longtemps que celle de la flèche. Le diamètre du chemin de la décharge de retour est en réalité beaucoup plus petit que celui de la flèche en paliers, étant donné l'effet de pincement magnétique de son fort courant [13].

Le fait que la rapidité d'avance de cette flèche en paliers est remarquablement constante suggère que les paliers brillants sont précédés d'une pâle flèche pilote qui avance continuellement durant les intervalles de repos apparents. Quand une telle flèche pilote a pris une avance de quelques dizaines de mètres, elle requiert un courant plus fort, ce qui entraîne une augmentation brusque de sa luminosité et elle apparaît comme un palier brillant. La présence de cette flèche pilote pâle progressant à environ 2×10^7 cm/s a été déduite de raisonnements théoriques, mais n'a pas encore pu être démontrée avec certitude à l'aide de photographies.

La découverte d'une flèche de pointe en paliers a permis de faire comprendre comment il était possible à un éclair de franchir un intervalle de l'ordre du 1,5 km entre le nuage et le sol. Le potentiel total est de l'ordre de 100 mégavolts et le gradient de potentiel total ne représente ainsi qu'une faible partie du potentiel nécessaire à l'éclatement d'une étincelle entre des électrodes métalliques au laboratoire.

Plusieurs théories ont été avancées pour expliquer le mécanisme du palier brillant, notamment par B. F. J. Schonland [5] et C. E. R. Bruce [6]. Bien que différant quelque peu par les détails, elles conduisent aux mêmes conclusions générales. Lors de la formation d'un palier, une traînée très conductrice existe entre le nuage et la pointe avant du palier, si bien que le potentiel est ici du même ordre de grandeur que le potentiel du nuage. La concentration résultante des lignes de forces de la pointe permet à une flèche pilote pâle de progresser sur une distance limitée. Cependant, la décharge intense du palier qui survient alors rétablit un potentiel élevé à la pointe de sorte que la flèche pilote peut avancer à nouveau. Il n'y a pas de raison pour qu'une telle décharge en paliers, une fois amorcée, ne puisse progresser indéfiniment, à condition que le nuage puisse fournir la charge nécessaire. Cette conclusion est appuyée par l'existence de décharges aériennes, horizontales, extrêmement longues qui avancent par paliers, comme l'ont montré les études photographiques.

Durant l'avance de la flèche en paliers, la charge négative du nuage descend. La flèche pilote, sur sa route vers le sol, forme des ramifications latérales vers des concentrations de charges positives aériennes formées par effet de pointe au sol. Le sol, bon conducteur, acquiert une charge positive induite durant l'avance de la flèche chargée négativement. Quand la flèche atteint le sol, la charge négative répartie le long de son trajet est neutralisée par la décharge de retour, qui peut être considérée comme une charge positive se déplaçant de bas en haut le long de ce

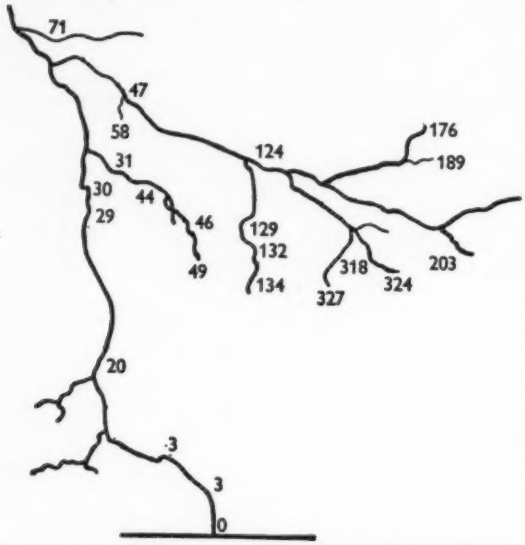

FIGURE 1 – *Tableau de marche en microsecondes de l'avance d'une décharge de retour vers le nuage et le long des ramifications.*

trajet et vers les ramifications formées par la flèche. La luminosité de la décharge de retour progresse de bas en haut à une vitesse variant du dixième au tiers de la vitesse de la lumière.

La figure 1 montre le tableau de marche en microsecondes de la progression de la décharge de retour. Alors que la luminosité met 71 microsecondes à atteindre le nuage, elle n'atteint l'extrémité inférieure de la longue ramification à droite qu'après 327 microsecondes.

Le courant intense, d'environ 30 000 A, de la première décharge de retour provoque une forte ionisation du trajet de l'éclair, qui demeure conducteur environ 100 millisecondes après le passage du courant. Si une seconde décharge suit dans cet intervalle de temps, elle rencontre ainsi une voie toute prête, de faible résistance, dans laquelle sa pointe avance rapidement et continuellement sous forme d'une flèche brillante allant directement au sol le long du trajet originel, sans ramification. Cette flèche répartit aussi des charges négatives le long de son trajet et par conséquent est suivie d'une décharge de retour intense, allant de bas en haut, à partir du sol; elle est semblable à la première décharge de retour, mais sans ses ramifications.

D'autres décharges ultérieures auront également des flèches rectilignes, dont la rapidité est environ dix fois celle des flèches à paliers. La figure 5 montre une flèche rectiligne à droite et la décharge de retour qui suit à gauche, les objectifs de l'appareil tournant de droite à gauche. Si le temps qui s'est écoulé depuis la première décharge de retour est voisin de 100 millisecondes, l'ionisation qui demeure dans la partie supérieure du trajet est à peine suffisante pour guider la flèche de pointe qui redevient alors du type à paliers, la longueur des paliers et les intervalles étant courts. Pendant le temps mis par la flèche de pointe pour l'atteindre, la partie inférieure du trajet a généralement perdu son ionisation, à tel point qu'il n'y a plus d'effet de guidage. La flèche de pointe devient alors immédiatement un vrai éclair à paliers; elle suit un trajet indépendant dans sa progression et atteint le sol en un point différent de ceux des premières décharges.

LES PRINCIPAUX CENTRES DE CHARGES DES NUAGES ORAGEUX

Par convention, le champ électrique provoqué au sol par la charge d'un nuage est considéré comme positif si la charge est positive et négatif si la charge est négative. Pour des nuages orageux, on observe que le champ est négatif quand le nuage est près et positif quand le nuage est plus éloigné. Cet effet peut être attribué à la présence de deux régions polarisées l'une au-dessus de l'autre et de polarité différente, la région inférieure N étant négative, la région supérieure P étant positive.

Un coup de foudre provoque une variation soudaine dans le champ électrique. A de rares exceptions près, les éclairs vers le sol se traduisent toujours par des variations positives du champ, indiquant que le nuage est devenu moins négatif et que les éclairs vers le sol ont ainsi pris de l'électricité du centre N chargé négativement et l'ont apportée vers le sol. Les éclairs de nuages donnent par contre des variations positives du champ quand le nuage est près de l'observateur et négatives quand il est loin; cette observation permet de conclure que les éclairs entre nuages sont des décharges entre les centres polarisés N et P. Ces observations générales montrent que la région chargée positivement est plus élevée que la région chargée négativement, mais ne donnent pas de renseignement sur les hauteurs réelles de ces régions.

La variation du champ électrique due à un coup de foudre est mesurée dans un poste d'observation au sol et dépend de la distance (D) de l'éclair, de la valeur (Q) de la charge apportée au sol ou neutralisée dans le nuage, et de la hauteur initiale (H) de la charge. D peut être obtenue en mesurant le temps écoulé entre le moment où l'on voit l'éclair et celui où l'on entend le tonnerre.

(a)

(b)

FIGURE 2 – (*a*) *Photographie d'un éclair à sept décharges se suivant dans l'ordre* 1–7, *prise avec l'appareil lent de la figure* 3. (*b*) *Photographie du même éclair prise avec l'appareil rapide de Boys à deux objectifs. Les objectifs tournent dans le sens des aiguilles d'une montre. Seule la décharge* 1 *a des ramifications.*

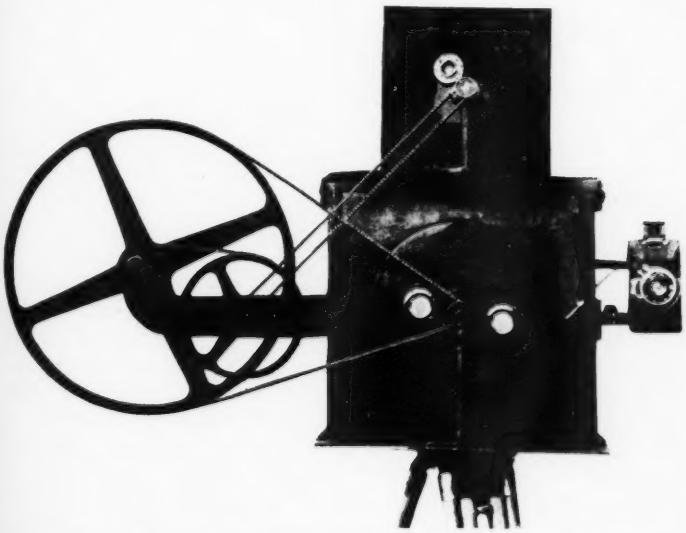

FIGURE 3 – *Ensemble d'appareils utilisés en Afrique du Sud. En bas, appareil rapide à deux objectifs de Boys. En haut, appareil lent à un seul objectif; à droite, appareil fixe.*

Il est évident que les deux inconnues Q et H ne peuvent pas être déterminées par une seule observation, mais que deux mesures indépendantes des variations du champ sont nécessaires à des distances différentes. Dans le cas d'éclairs de nuages entre charges situées à des hauteurs différentes, trois mesures au moins sont nécessaires.

DISTRIBUTION DES CHARGES

La première détermination directe de la hauteur des charges de divers nuages a été effectuée au moyen de ballons-sondes portant un appareil ingénieux, appelé alti-électrographe, pour mesurer les champs électriques [7]. L'appareil consiste essentiellement en un long fil métallique pendant, dans lequel une interruption est ménagée près du sommet; les extrémités de la coupure sont reliées à des électrodes appuyant sur un

FIGURE 4 – *Flèche de pointe à paliers. Les objectifs tournent de droite à gauche. La descente en paliers de la flèche de pointe est visible à droite. L'image de la décharge de retour brillante à gauche est élargie du fait de sa luminosité continue.*

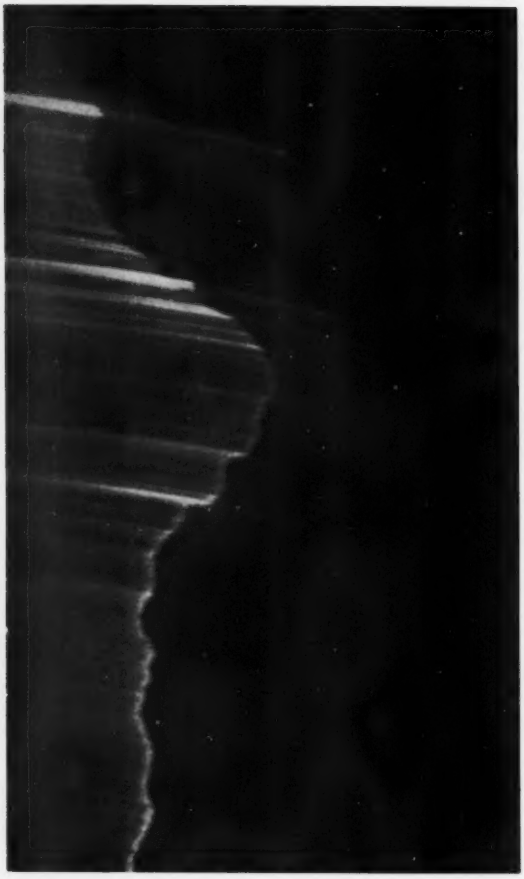

FIGURE 5 – *Flèche de pointe. Les objectifs tournent de droite à gauche. La pointe partant de l'extrémité droite progresse vers le sol, où elle est suivie par la décharge de retour à gauche. Le mouvement des objectifs provoque la distorsion des images et donne l'aspect en V.*

papier indicateur de pôles. Des champs puissants font passer un courant électrique entre les extrémités du fil, et l'électrode supérieure ou inférieure, selon la direction du champ, colorant le papier; celui-ci est entraîné par un mouvement d'horlogerie et la largeur de la trace colorée sert à mesurer l'intensité du champ.

Ces ballons-sondes ont montré que le centre de charge négative est situé au-dessus de la base du nuage, dans une région où la température est inférieure à 0°, et que le principal centre de charge positive est situé plus haut, vers le sommet du nuage. On a également fait une autre découverte importante: une autre petite charge positive se trouve souvent à la base du nuage où la température est supérieure à 0°.

La présence de cette charge positive inférieure (*p*) explique pourquoi le champ électrique, juste avant que n'éclate un éclair vers le sol, est très petit ou même positif; la faible charge positive qui est la plus proche du sol, contrarie l'effet de la charge négative beaucoup plus grande qui se trouve au-dessus. Les détecteurs d'éclairs qui doivent sonner ou produire une lumière quand le champ est important, peuvent ainsi ne pas fonctionner quand une décharge très proche est imminente.

Les ballons-sondes présentent l'inconvénient de suivre un trajet qui ne peut pas être contrôlé et de traverser le nuage en un temps long en comparaison de la durée des phénomènes électriques. Les résultats obtenus sont de ce fait difficiles à interpréter. Pour ces raisons, une méthode différente pour détecter la répartition des charges a été

ultérieurement utilisée en Afrique du Sud [8].

Cette méthode d'étude a conduit à une découverte inattendue: la charge négative est répartie dans une colonne à peu près verticale s'étendant de 3,5 km à 8,5 km d'altitude. On a trouvé aussi que la première décharge d'un éclair vers le sol s'alimentait d'une région de charge limitée à une altitude d'environ 3,5 km, et que les décharges suivantes prenaient de l'électricité dans des régions de la colonne chargée négativement, situées de plus en plus haut. Ceci fut une découverte étonnante, car on pensait auparavant que les décharges successives partaient des régions de charge complètement séparées et isolées, réparties horizontalement près de la base du nuage.

La totalité de la colonne négative se trouve dans une région où règne une température inférieure à 0°, son sommet se trouvant souvent dans la zone de −40° C (figure 6). Cette température a une signification spéciale, car c'est la température la plus basse à laquelle une gouttelette d'eau pure peut être surfondue sans geler. Il en résulte que seules des particules de glace peuvent se trouver au-delà du niveau −40°, alors que l'on trouve ensemble, dans la région de la colonne négative, des particules de glace et des gouttes d'eau, fait qui doit avoir quelque rapport avec les processus physiques impliqués dans l'électrisation du nuage.

La distribution des charges électriques intervenant dans les coups de foudre peut également être étudiée par le radar, car les charges dans le nuage sont captées par une multitude de flèches de décharge qui créent des régions fortement ionisées sur lesquelles les ondes du radar peuvent se réfléchir. Des études récentes au radar ont confirmé la présence d'une haute colonne chargée négativement et ont montré par la suite que son diamètre était d'environ un ou deux kilomètres.

La colonne chargée négativement est associée à une cheminée de courants d'air puissants dirigés de bas en haut dans le nuage. De grandes particules de glace ou d'eau, chargées négativement, tendent à tomber vers le bas sous l'effet de la pesanteur, tandis que des particules plus petites chargées positivement sont poussées vers le haut pour former la charge positive supérieure, comme nous le verrons plus tard. Il est vraisemblable qu'une partie des particules légèrement positives se répand au-dessus du sommet de la cheminée par un courant d'air ascendant et est ramenée à une altitude plus basse par les courants d'air descendants qui existent vers l'arrière d'un nuage orageux complètement formé. Cette conclusion est confirmée par les observations au radar qui montrent que les décharges à l'intérieur du nuage entre les centres de charge *N* et *P* n'atteignent très souvent pas la même altitude que les décharges finales des éclairs vers le sol, ce qui montre que toute la charge *P* n'est pas entièrement au-dessus de la colonne négative.

La figure 6 illustre la distribution probable des charges dans la cellule d'un nuage orageux, en tenant compte de tous les renseignements dont on dispose à l'heure actuelle. Un grand nuage orageux peut contenir plusieurs cellules actives. A Johannesbourg, qui se trouve sur un plateau situé à 1 800 mètres au-dessus du niveau de la mer, les sommets des nuages orageux atteignent des altitudes de 12 000 m au-dessus du niveau du sol. Sous des latitudes plus tempérées, les nuages n'atteignent pas une si grande hauteur.

PROCESSUS DE RUPTURE ÉLECTRIQUE DANS LE NUAGE

Les régions chargées d'électricité dans un nuage orageux contiennent un certain nombre de gouttes d'eau et de particules de glace qui portent des charges, mais qui sont séparées les unes des autres par l'air environnant. Une telle région ne peut être déchargée avant qu'un contact électrique soit établi entre les particules chargées

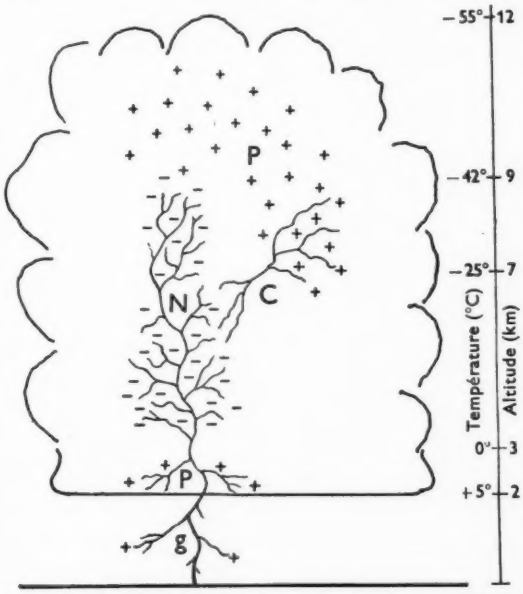

FIGURE 6 – *Distribution probable des charges principales dans un nuage orageux à Johannesbourg, altitude* 1 800 *m au-dessus du niveau de la mer.* P, *charge positive supérieure;* N, *colonne négative;* p, *charge positive inférieure;* g, *éclair vers le sol, qui draine progressivement la colonne négative, de la base vers le haut;* C, *éclair de nuages entre les régions* N *et* P.

isolées, de façon à les rassembler et à réunir leurs charges en un canal ionisé et conducteur qui peut alors progresser sous forme d'éclair. L'explication suivante du mécanisme par lequel un tel canal conducteur est formé dans le cas d'un éclair vers le sol a été avancée pour la première fois par L. B. Loeb [10] à partir d'un raisonnement théorique. Ses prévisions furent confirmées plus tard par N. D. Clarence et D. J. Malan [11].

La région située entre la base de la colonne négative N et la charge positive inférieure p (figure 6) dans la base du nuage renferme de grosses gouttes d'eau situées dans un champ électrique qui va en croissant. Une charge positive est induite sur la surface supérieure et une charge négative sur la surface inférieure de chaque goutte qui s'étire sous l'influence des attractions électriques opposées des charges N et p du nuage.

A mesure que les charges dans le nuage augmentent, le champ croît et les gouttes deviennent de plus en plus longues jusqu'à ce que le champ atteigne une valeur de 10^4 volts/cm. A ce moment, une goutte devient instable et un long filament d'eau s'échappe de son extrémité positive; une décharge luminescente éclate alors à l'extrémité effilée de ce filament, laissant une poussière de minuscules gouttelettes chargées d'ions. La goutte d'eau va continuer à émettre des filaments jusqu'à ce que son diamètre soit réduit à 1 mm [12]. Il ne faut qu'une seule goutte d'eau disposée favorablement dans le nuage pour déclencher cette pulvérisation, qui se propage alors de goutte en goutte par une réaction en chaîne, jusqu'à la formation d'un canal conducteur entre les centres de charges N et p.

La neutralisation de la charge p suit alors, après quoi le canal conducteur s'étendant vers la base du nuage devient négatif, la charge négative étant soutirée de la colonne négative par les flèches qui s'y répandent. L'apport des charges continuant, le champ électrique devant la partie inférieure du canal conducteur continue à croître jusqu'à ce qu'il atteigne une valeur de 6×10^4 volts/cm, qui est le champ nécessaire pour déclencher la flèche pilote et l'éclair de pointe en paliers à travers l'air, vers le sol.

ORIGINE DES DÉCHARGES MULTIPLES

La distribution des charges dans la colonne négative est continue, mais sa densité n'est pas uniforme. On pouvait penser qu'une telle colonne polarisée se décharge d'une façon continue, une fois que l'éclair de pointe a établi un contact électrique avec le sol et non pas par intermittence,

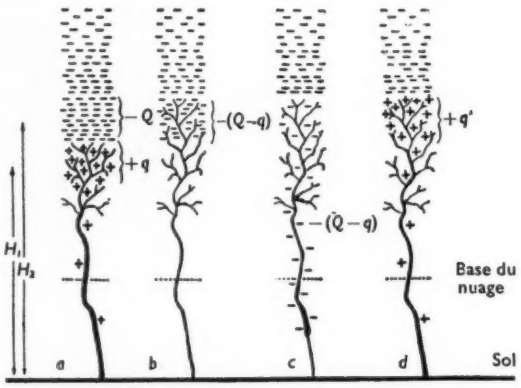

FIGURE 7 – *Schéma montrant les processus électriques intervenant dans le nuage dans l'intervalle entre deux décharges successives d'un éclair vers le sol.*

par une série de décharges, comme cela se produit habituellement. La réponse à ce problème complexe fut trouvée en étudiant les faibles variations du champ électrostatique dans les intervalles entre les décharges successives d'un éclair vers le sol [8]. Ces variations du champ de jonction J, montrent que la charge positive s'élevait à la vitesse de 3×10^6 cm/s et était neutralisée au cours du phénomène. Les différents états de J entre deux décharges successives d'un éclair vers le sol sont illustrés par la figure 7(*a*, *b*).

La figure 7*a* montre la distribution des charges au moment de l'achèvement d'une décharge de retour qui a apporté une charge positive $+q$ à des flèches ramifiées très conductrices au sommet du canal, à une hauteur moyenne H_1. Dans le champ puissant entre $+q$ et $-Q$ des pointes positives tendent à pénétrer dans $-Q$ jusqu'à neutralisation de la charge positive $+q$, laissant une charge négative résiduelle $-(Q-q)$ dans une région rendue conductrice par les flèches à une hauteur moyenne H_2, figurée en *b*.

Cette charge négative descend maintenant le canal sous forme d'une flèche de pointe figurée en *c*. La décharge de retour qui suit apporte à nouveau une charge positive au sommet du canal, montrée en *d*. Les conditions sont maintenant semblables à celles de *a*. Tout le processus J se répète successivement, drainant des régions de plus en plus hautes de la colonne négative jusqu'à épuisement de sa charge. Des investigations au radar ont montré qu'en plus des processus J au sommet du canal (figure 7) la disparition des charges résiduelles négatives vers la base du nuage se poursuit d'un bout à l'autre de l'éclair.

Les éclairs qui n'ont qu'une ou deux décharges

étant souvent suivis par un courant continu vers le sol de 50-80 ampères, durant quelques centaines de millisecondes, on a pensé que dans ce cas la colonne négative est drainée d'une façon continue, car la densité de sa distribution des charges est exceptionnellement élevée.

PROCESSUS DE L'ÉLECTRISATION

On croyait encore, il y a douze ans, que la théorie de l'électrisation par chute des gouttes d'eau de C. T. R. Wilson pouvait expliquer la séparation des principales charges positive et négative dans un nuage. D'après cette théorie, une grosse goutte d'eau dans un nuage possède une charge induite positive sur sa surface inférieure et une charge négative sur sa surface supérieure, du fait du champ électrique normal. La goutte d'eau est supportée, ou tombe doucement, dans un puissant courant d'air ascendant, l'air en temps normal renfermant approximativement un nombre égal d'ions positifs et négatifs. Quand un ion négatif est porté vers la goutte d'eau, il s'y fixera, attiré par sa charge positive inférieure. Un ion positif au contraire sera repoussé et devra faire le tour de la goutte d'eau avant d'arriver dans la zone d'attraction de la charge négative de la partie supérieure de cette goutte. Cependant la mobilité des ions positifs est faible comparée à la vitesse du vent, si bien qu'ils ne pourront pas retourner vers la goutte d'eau et seront chassés par le vent. Par cette capture sélective des ions négatifs, les gouttes d'eau se chargent négativement et forment le centre inférieur N de charges négatives. L'air chassé vers le haut garde un excès d'ions positifs qui va former le centre supérieur P de charges positives. Lorsqu'on disposa de données plus nombreuses sur l'évolution des cellules nuageuses, on trouva toutefois que le processus de Wilson à lui seul était trop lent pour produire la séparation des charges observée en un temps donné.

Un nuage orageux renferme de la vapeur d'eau, de grosses et de petites gouttes d'eau et de grosses et de petites particules de glace, les unes humides, les autres sèches. Les gouttes d'eau et les particules de glace présentent de grosses variations de température et sont dans un état d'agitation provoquée par les courants d'air violents dans le nuage. Des expériences de laboratoire ont montré que les charges électriques peuvent être séparées par diverses réactions entre les différents constituants du nuage.

Le frottement entre les particules de glace de tailles différentes engendre de l'électricité, mais la réaction dépend de la différence de température entre les particules qui se heurtent et aussi de leur état de contamination par des substances dissoutes.

Quand une particule de glace grossit par sublimation de vapeur d'eau, elle peut engendrer des petits éclats de glace, la particule principale acquérant une charge négative, les éclats une charge positive. L'éclaboussure produite par la collision d'une grosse goutte d'eau et d'un grêlon et sa congélation partielle sur lui confère une charge négative au grêlon et une charge positive à la poussière de gouttelettes.

Quand de petites gouttelettes en surfusion se heurtent à une particule de glace, elles se congèlent sur la particule qui acquiert alors une charge négative et l'air devient positif. On trouve une preuve qu'un tel processus de givrage est au moins en partie responsable de la séparation des charges dans les nuages, dans l'observation déjà signalée: la colonne négative s'étend jusqu'à un niveau de $-40°$, au-dessus duquel l'eau ne peut plus exister à l'état liquide et le givrage est impossible. Chacun de ces processus de formation des charges oblige les charges négatives à se rassembler sur les plus grosses particules et les charges positives sur les plus petites, si bien que la séparation des charges peut se faire par gravité. Les particules les plus lourdes, chargées négativement, ont tendance à tomber, tandis que les plus légères vont être entraînées vers le sommet du nuage par les courants d'air ascendants.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Boys, C. V. *Nature, Lond.*, **118**, 749, 1926.

[2] Ligda, M. G. H. *J. atmos. terr. Phys.*, **9**, 329, 1956.

[3] Schonland, B. F. J., Malan, D. J. et Collens, H. *Proc. roy. Soc., A*, **168**, 455, 1938.

[4] Pierce, E. T. *Quart. J.R. met. Soc.*, **81**, 211, 1955.

[5] Schonland, B. F. J. *Proc. roy. Soc., A*, **164**, 132, 1938; **220**, 25, 1953.

[6] Bruce, C. E. R. *Ibid.*, **183**, 228, 1944.

[7] Simpson, G. C. et Scrase, F. J. *Ibid.*, **161**, 309, 1937. Simpson, G. C. et Robinson, G. D. *Ibid.*, **177**, 281, 1940.

[8] Malan, D. J. et Schonland, B. F. J. *Ibid.*, **206**, 145, 1951; **209**, 158, 1951.

[9] Hewitt, F. J. *Proc. phys. Soc. Lond., B*, **70**, 961, 1957. Miles, V. G. *J. atmos. terr. Phys.*, **3**, 258, 1953.

[10] Loeb, L. B. Compte rendu du Département de Physique, Université de Californie, 1953.

[11] Clarence, N. D. et Malan, D. J. *Quart. J.R. met. Soc.*, **83**, 161, 1957.

[12] Macky, W. A. *Proc. roy. Soc., A*, **133**, 565, 1931.

[13] Allen, J. E. *Endeavour*, **17**, 117, 1958.

A. F. de Fourcroy et la théorie antiphlogistique

par W. A. SMEATON

Le rejet de la théorie du phlogistique eut un retentissement profond sur l'histoire scientifique. Le mérite en revient surtout à Lavoisier, mais on ne sait pas toujours qu'il rencontra une opposition tenace, qui fut finalement vaincue dans une grande mesure par le plaidoyer éloquent et impartial de Fourcroy.

Antoine François de Fourcroy naquit à Paris le 15 juin 1755 et y devint étudiant en médecine vers 1773, au moment où Lavoisier commençait sa grande série de recherches sur la combustion et la calcination. Ses premiers maîtres de chimie lui enseignèrent sans doute que tous les métaux et corps inflammables renferment le phlogistique, principe émis pendant la combustion et la calcination et transmis d'un corps à un autre dans de nombreuses réactions. Quinze ans plus tard, il enseignait lui-même que rien n'est émis pendant la combustion mais que les matériaux combustibles se combinent avec l'oxygène, l'un des éléments de l'atmosphère. Tels sont les principes de base de deux grands systèmes chimiques. La différence qui les sépare est profonde. Le phlogistique était un principe qu'on ne pouvait jamais isoler et auquel divers chimistes attribuaient des propriétés contradictoires. Au contraire, la théorie antiphlogistique reposait sur l'étude d'un corps qu'on pouvait isoler, peser et examiner par des procédés physiques et chimiques courants.

Les découvertes expérimentales de nombreux savants contribuèrent à cette révolution en chimie, mais le mérite de la fondation de la théorie antiphlogistique revient à Lavoisier, qui l'élabora peu à peu en une série d'articles parus de 1773 à 1787. Les écrits de Lavoisier étaient lus de ceux qui consultaient les revues scientifiques, mais son œuvre était aussi bien connue hors de ce milieu et la théorie nouvelle, une fois mise au point, se répandit rapidement dans le monde entier. C'est Fourcroy qui contribua surtout à sa diffusion.

La famille de Fourcroy n'était pas riche; ses études terminées, il prit un emploi de copiste et serait resté dans l'obscurité s'il n'avait rencontré F. Vicq d'Azyr (1748–94), dont débutait la carrière de médecin et d'anatomiste. Le jeune copiste fit si bonne impression sur Vicq d'Azyr que ce dernier persuada son père de lui permettre d'étudier la médecine. Fourcroy était un étudiant doué, ce qui lui valut de nombreux encouragements et des secours en argent de la part de la Société Royale de Médecine, dont Vicq d'Azyr était secrétaire. La plupart des membres étaient de jeunes médecins s'intéressant aux aspects scientifiques de la médecine et parmi eux se trouvait J. B. M. Bucquet (1746–80), professeur de chimie à la Faculté de Médecine de Paris.

Suivant l'exemple de Vicq d'Azyr, Fourcroy s'intéressa d'abord à la recherche anatomique; mais l'influence de Bucquet l'emporta et il décida bientôt de s'adonner à la recherche chimique et à l'enseignement de la chimie [1]. Il travailla au laboratoire de Bucquet dont la maladie subite lui donna l'occasion d'enseigner pour la première fois en 1778 [2].

Au cours de l'hiver 1778–79, alors qu'il n'avait pas encore ses diplômes, Fourcroy donna son premier cours annuel où, comme Bucquet, il combinait la chimie à l'histoire naturelle. Sa réputation de conférencier fut bientôt établie et la publication de son premier livre: «Leçons élémentaires d'histoire naturelle et de chimie», qui fut traduit en anglais et en italien, l'augmenta encore. Fourcroy semblait être le successeur indiqué à la chaire de Bucquet quand celui-ci mourut en 1780, mais ses rapports étroits avec la Société Royale de Médecine lui acquirent la désapprobation des membres haut-placés de la Faculté, qui étaient opposés à certaines activités de la Société. Quand il reçut ses diplômes en 1780, on lui refusa le titre de docteur régent, sans lequel il ne pouvait pas enseigner à la Faculté. Cet échec fut en réalité un bienfait, car il dut en conséquence préparer des conférences sur l'ensemble de la chimie au lieu de se restreindre aux aspects médicaux du sujet, comme il l'aurait sans doute fait s'il avait enseigné à la Faculté.

Dans ses dernières années, Bucquet fit de

nombreux travaux avec Lavoisier et fut probablement le premier chimiste à adopter les théories de celui-ci, qu'il enseigna dans ses dernières séries de cours [3]. Fourcroy prit part à certains de ces travaux en commun et, lui aussi, se montra en faveur de la théorie nouvelle dès décembre 1777. Il écrivit alors, après avoir examiné historiquement la notion de la présence d'air dans les *calces* métalliques: «M. Lavoisier a montré finalement, par de nombreuses expériences aussi ingénieuses qu'exactes, que la calcination est simplement l'absorption par le métal d'un fluide élastique de l'air et que la réduction d'un *calx* métallique n'est que la libération de ce fluide...» [4].

Dans sa thèse de médecine soutenue le 15 juin 1778, Fourcroy [5] déclarait aussi que l'illustre Lavoisier avait prouvé que l'air est fait du mélange de deux gaz. Vers 1782, néanmoins, il n'était plus sûr que celui-ci avait raison de rejeter le phlogistique. La préface des «Leçons élémentaires» expliquait qu'une de ses intentions était de comparer cette théorie avec les nouvelles et qu'il ne rejetait pas plus l'une qu'il n'acceptait les autres; la théorie de Lavoisier, reposant uniquement sur des faits établis, lui semblait toutefois plus convaincante pour le moment. A cette époque, en effet, elle était encore loin d'être parfaite et Fourcroy estimait que de nombreux phénomènes étaient mieux expliqués par P.-J. Macquer (1718–84). En 1777, dans la seconde édition de son «Dictionnaire de chimie» [6], Macquer avait exprimé l'opinion que durant la combustion et la calcination, l'absorption d'une certaine partie de l'air était accompagnée de l'émission de phlogistique, qu'il considérait identique à la lumière. Cette théorie n'était pas parfaite non plus car, comme le faisait remarquer Fourcroy, certains métaux se calcinent sans émission apparente de lumière.

FIGURE 1 – *A. F. de Fourcroy*, 1755–1809. *D'après une lithographie de Bonhomme, copiée sur un portrait de David. (Reproduite grâce à l'amabilité de la Bibliothèque Nationale, Paris.)*

L'incertitude concernant l'origine de cette lumière était peut-être la raison principale pour laquelle Fourcroy se sentait incapable en 1782 d'adopter sans doute aucun les théories de Lavoisier ou de Macquer. Cinq ans auparavant, il avait accepté l'idée de l'absorption de l'air ou d'une partie de l'air, mais Lavoisier avait formulé depuis que la substance du feu ou de la lumière (fluide impondérable qu'il appela plus tard calorique) se trouvait dans tous les gaz et qu'elle était libérée par l'oxygène pendant la combustion. Fourcroy considérait que la présence de feu ou de lumière dans l'oxygène n'était pas plus prouvée que celle du phlogistique dans les combustibles. Ce n'est que lorsque la théorie du calorique eut une base quantitative sûre et qu'elle eut été modifiée considérablement à la suite des travaux de Lavoisier et de Laplace sur la calorimétrie que Fourcroy accepta finalement cette partie de la théorie antiphlogistique.

Une note de Lavoisier de 1785 montre [7] qu'il estimait l'ouvrage de Fourcroy où la théorie nouvelle était présentée au public à un stade crucial de son développement et avec une impartialité rare dans les manuels du XVIIIe siècle, ou de n'importe quel autre.

Les cours privés de Fourcroy et de certains de ses contemporains à Paris n'étaient suivis que par de petits groupes d'étudiants sérieux, mais les conférences de Macquer au Jardin du Roi (le Muséum d'Histoire Naturelle d'aujourd'hui) attiraient des centaines de curieux. A la mort de celui-ci en 1784, les deux candidats au poste étaient Fourcroy et C. L. Berthollet, plus âgé que lui et membre de l'Académie des Sciences (1748–1822). Grâce à sa réputation établie de conférencier, Fourcroy obtint le poste et Berthollet prit avec compétence la succession de Macquer à la tête des ateliers de

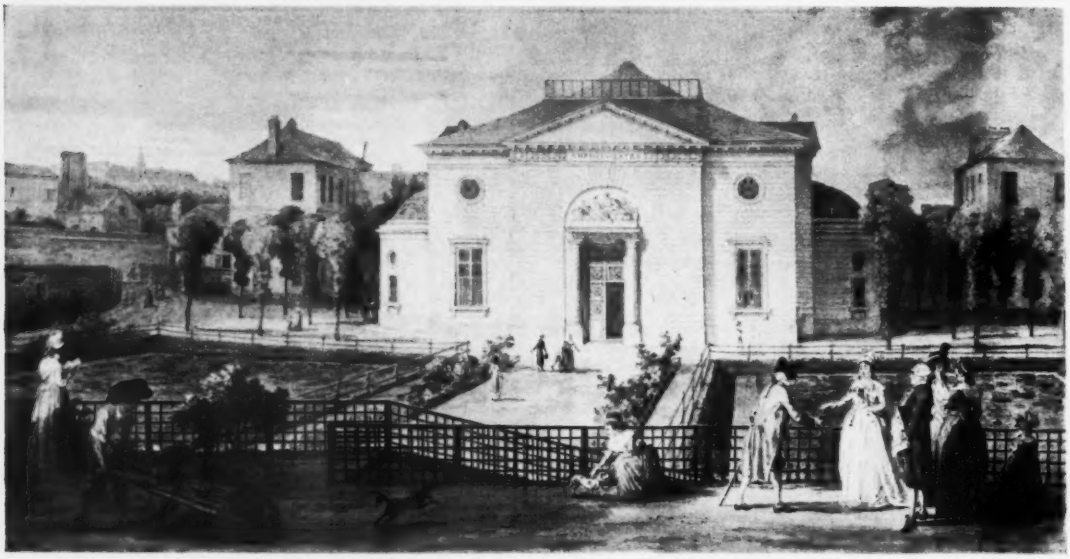

FIGURE 2 – *L'amphithéâtre du Muséum d'Histoire Naturelle en* 1795, *d'après un tableau de B. Hilair.* (*Reproduite grâce à l'amabilité de la Bibliothèque Nationale, Paris.*)

teinture des Gobelins, car il s'intéressait particulièrement aux applications industrielles de la chimie.

Peu après sa nomination, Fourcroy faisait remarquer à un ami que Berthollet occupait aux Gobelins le poste scientifique le mieux payé de France avec un salaire annuel de 6 000 livres alors qu'il ne gagnait lui-même que 1 500 livres au Jardin du Roi. Il comparait ces chiffres aux traitements des fonctionnaires haut placés, qui recevaient parfois jusqu'à 100 000 livres, et se plaignait amèrement de la rémunération insuffisante des savants [8]. Ses livres et ses cours privés augmentaient certes ses revenus, mais ce n'est que vers 1800 que, devenu Conseiller d'Etat, il atteignit une aisance moyenne.

On bâtit un nouvel amphithéâtre de 1 200 places au Jardin du Roi et c'est là que Fourcroy devint célèbre. Pendant un quart de siècle, des auditoires immenses et cosmopolites vinrent écouter le grand maître, qui était aussi un brillant orateur. C'est l'époque où la chimie subit une transformation totale. Heureux ceux qui purent en être instruits par la parole de Fourcroy!

Le 31 juillet 1784, Fourcroy demanda à l'Académie d'approuver le manuscrit de la seconde édition de son manuel, intitulé aujourd'hui «Elémens d'histoire naturelle et de chimie». Là encore, il comparait les théories phlogistique et antiphlogistique, sans adopter définitivement l'une ou l'autre. Le rapport fut présenté à l'Académie par Lavoisier et Sage le 9 juillet 1786 seulement et, lorsque l'ouvrage parut peu après, le long discours préliminaire montrait que Fourcroy acceptait maintenant complètement la théorie antiphlogistique. En l'espace de deux ans, la découverte de la composition de l'eau et de l'acide nitrique avait beaucoup joué en sa faveur. De plus, Fourcroy avait été élu à l'Académie en mai 1785 et rencontrait couramment Lavoisier et Berthollet, converti peu de temps auparavant à la théorie.

En avril 1786, peu de temps sans doute après son adhésion, Fourcroy donna pour la première fois une courte série de conférences sur la chimie des gaz, qui servit d'introduction à son cours de chimie générale. Son ami Bouvier copia le cours et le manuscrit fut revu chaque année, parfois par Fourcroy lui-même et les conférences furent modifiées au fur et à mesure des dernières découvertes sur les gaz. Fourcroy avait l'intention de faire paraître la série quand le sujet serait devenu plus stable, mais Bouvier quitta Paris pendant la Révolution et le projet ne fut jamais réalisé. Le manuscrit constitue une excellente introduction à la chimie antiphlogistique et prouve une fois de plus l'habileté de Fourcroy à présenter son sujet de façon originale et intéressante [9].

Au début de 1787, Lavoisier et ses disciples reçurent dans leurs rangs L. B. Guyton de Morveau (1737–1816) qui avait proposé en 1782 une réforme partielle de la nomenclature chimique. Fourcroy collabora avec Guyton, Lavoisier et

Berthollet à la préparation d'une terminologie complète, où le nom de chaque corps devait exprimer sa composition en accord avec la nouvelle théorie [10]. La part de Fourcroy fut sans importance mais il contribua grandement à l'adoption de la nouvelle nomenclature en l'employant dans les nombreux ouvrages qu'il écrivit par la suite.

Le premier de ceux-ci, intitulé «Principes de chimie», parut en 1787 dans la série «Bibliothèque universelle des dames». En dépit de sa simplicité, ce petit volume a un intérêt considérable, car c'est le premier ouvrage écrit entièrement selon la théorie nouvelle. Le phlogistique n'est même pas cité; seule, la nomenclature nouvelle est utilisée et le plan systématique du contenu suit la composition des corps étudiés. Utile à n'importe quel niveau des études, le petit manuel d'introduction fut réimprimé en 1787. Quelques exemplaires de plus, avec une préface et un frontispice différents, parurent l'année suivante, à l'intention des étudiants du Collège Vétérinaire d'Alfort où Fourcroy avait été professeur de chimie de 1783 à 1787.

La présentation du sujet était meilleure dans les «Principes de chimie» que dans les «Elémens» où les corps étaient classés selon la façon dont on les trouve dans la nature. Fourcroy se rendait compte de la supériorité de la seconde méthode, mais il ne l'adopta ni dans les éditions nouvelles de 1789 et 1791, ni dans les deux réimpressions de 1793, ne voulant pas, lui ou son éditeur, effectuer de changement radical dans un ouvrage en vogue. La chimie nouvelle avait très grand succès à Paris et Fourcroy l'enseignait non seulement au moyen de livres et de conférences à son laboratoire et au Jardin du Roi mais au Lycée de la rue de Valois, établissement privé d'enseignement supérieur où il occupa la chaire de chimie de 1787 à 1807 [11].

Les activités de Fourcroy furent l'objet des sarcasmes de Marat, le grand révolutionnaire, dans une attaque des membres de l'Académie des Sciences qu'il fit paraître en 1791. J.-P. Marat portait rancune depuis longtemps à l'Académie pour avoir critiqué ses publications scientifiques. Après s'en être pris à Lavoisier et à son œuvre, il décrivit Fourcroy en termes méprisants, l'appelant «le petit disciple, chargé de disperser aux quatre vents de Paris ces belles découvertes» [12]. Mais les révolutionnaires changeaient rapidement d'avis et c'est après avoir été désigné par Marat que Fourcroy fut élu, non sans quelque résistance, député suppléant à la Convention, en 1792. Par une étrange ironie du sort, quand il entra à la Convention en juillet 1793, ce fut pour occuper le siège devenu libre à la suite de l'assassinat de Marat.

Fourcroy ajouta encore à ses labeurs en acceptant la lourde tâche de compléter la section de chimie de l'«Encyclopédie Méthodique» qui devait remplacer l'«Encyclopédie» de Diderot. Le premier des six volumes de chimie était l'œuvre de Guyton, mais en 1790 celui-ci fut nommé à un poste administratif important et ses travaux scientifiques furent délaissés quelque temps. Fourcroy réussit à faire paraître le second volume en 1792, mais la Révolution causa de nombreux retards. Le sixième, terminé par N.-L. Vauquelin (1763–1829) après la mort de Fourcroy, ne parut qu'en 1815.

En professeur méthodique, Fourcroy essayait toujours de découvrir les principes chimiques fondamentaux et de les relier logiquement; c'est pourquoi il inséra dans l'œuvre l'article «Axiomes» qui classait les faits chimiques essentiels sous douze en-têtes. L'article d'environ 25 000 mots fut réimprimé la même année sous forme de petit volume et sous le titre «Philosophie chimique». Fourcroy y fait dans chaque paragraphe un exposé, forcément bref mais très clair, du corps ou du phénomène cité. Chacun est fait d'une série de propositions, sans exprimer aucun doute sur leur exactitude. Le style est remarquablement concis, à l'inverse de certaines autres de ses œuvres qui sont souvent verbeuses, même pour le XVIIIe siècle.

Pour obtenir les détails chimiques, il fallait consulter un ouvrage traditionnel, mais pour l'étudiant et le chimiste établi désirant des précisions sur la théorie antiphlogistique, la «Philosophie chimique» était unique. Elle remporta un succès à confondre son auteur. En 1799, 8 000 exemplaires des deux éditions parisiennes officielles avaient été vendus, sans compter les contrefaçons. Pourtant, dans une lettre à Scherer, Fourcroy déclarait qu'il n'avait fait qu'un bénéfice insignifiant, ayant fixé un prix très bas pour une époque où le papier était très cher [13].

Entre 1793 et 1797, sa période d'activité politique, Fourcroy fit peu de recherches et n'écrivit pas de nouvel ouvrage, mais il s'appliqua à développer les applications industrielles et militaires de la science dans la jeune république et l'enseignement technique et scientifique supérieurs. Il prit une part importante dans la fondation à Paris de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole de Médecine et occupa dans l'une et l'autre une chaire de chimie qu'il conserva jusqu'à sa mort, avec celle du Muséum d'Histoire

Naturelle. On lui doit aussi en grande partie l'introduction d'un enseignement scientifique sérieux dans les programmes des écoles secondaires [14].

Fourcroy reprit son travail scientifique en 1797 et jusqu'à sa mort, le 16 décembre 1809, accomplit de nombreux travaux de valeur, surtout en collaboration avec Vauquelin, son ancien élève. Il s'intéressa surtout à la chimie des corps d'origine animale et aux applications de la chimie à la médecine.

Le troisième volume de chimie de l'«Encyclopédie Méthodique» parut en 1797, renfermant un long article de Fourcroy, intitulé simplement «Chimie», où il faisait en détail l'historique du sujet. La fin du XVIIe siècle et le XVIIIe y occupaient 387 pages in-quarto en caractères fins. L'ouvrage constitue jusqu'à ce jour une source d'information extrêmement importante sur les progrès de la théorie antiphlogistique particulièrement, dont l'honneur est attribué à Lavoisier uniquement. Il est intéressant de noter que, bien qu'il en fût le propagateur principal, Fourcroy considérait que Stahl, fondateur de la théorie phlogistique, était le véritable père de la chimie, pour lui avoir donné la première théorie unificatrice.

Fourcroy écrivit aussi un traité entièrement nouveau, «Système des connaissances chimiques», qui fut publié en 1800 en dix volumes in-octavo et cinq in-quarto. Ce grand ouvrage, destiné aux spécialistes, renferme une documentation poussée sur la chimie de tous les corps connus, classés selon leur composition; mais, pour l'auteur, c'était la première partie d'une œuvre beaucoup plus vaste qui devait comprendre trois autres traités sur l'histoire, la pratique et les applications de la chimie. Le projet ne fut jamais realisé, mais dans les «Connaissances chimiques», Fourcroy fait souvent allusion à l'histoire et aux applications de la chimie. Il fit paraître un résumé de l'œuvre sous forme d'une série de tableaux intitulés «Tableaux synoptiques de chimie» qui, comme les «Connaissances chimiques», furent traduits en plusieurs langues.

En 1800 Fourcroy devint membre du Conseil d'Etat de Bonaparte. Il fut bientôt nommé Directeur général de l'Instruction Publique et il s'adonna une fois de plus à la tâche d'organiser l'enseignement français. Il continua ses conférences et ses recherches en collaboration avec Vauquelin mais n'écrivit plus d'ouvrages. Il trouva, cependant, le temps de faire paraître une édition augmentée de la «Philosophie chimique» qui fut imprimée trois fois en 1806. Diverses éditions de cette œuvre furent traduites en onze langues étrangères et les étudiants de tous les pays du Brésil à la Russie y firent connaissance avec la chimie antiphlogistique.

On a ici la preuve de l'influence prépondérante de Fourcroy à son époque. Les traductions anglaises furent particulièrement nombreuses. Toutes les éditions des «Elémens», la seconde et troisième éditions de la «Philosophie chimique», le «Système des connaissances chimiques» et les «Tableaux synoptiques» furent publiés soit à Londres, soit à Edimbourg et ce furent sans doute les volumes les plus familiers aux étudiants anglais et écossais jusqu'à la publication du *System of Chemistry* de Thomas Thomson en 1802. L'influence de Fourcroy s'exerça aussi très fortement en Italie, où parurent au moins cinq traductions de la «Philosophie chimique».

Ses œuvres méritaient leur popularité et, en tant que propagandiste de la théorie antiphlogistique, Fourcroy n'avait pas d'égal. On s'émerveille d'autant plus qu'il ait su combiner les exigences de sa tâche de professeur et d'écrivain avec des travaux de valeur et avec une vie publique bien remplie.

REMERCIEMENTS

Je suis reconnaissant de la coopération du personnel de la Bibliothèque publique de Dole, où est conservé le manuscrit du cours de Fourcroy sur les gaz.

BIBLIOGRAPHIE

[1] PALISOT DE BEAUVOIS. «Eloge historique de M. Fourcroy», Paris. Sans date.

[2] CUVIER, G. «Eloge historique d'A. F. de Fourcroy». *Mém. Inst.*, **97**, 1810.

[3] SMEATON, W. A. *Ann. Sci.*, **12**, 231, 1956.

[4] FOURCROY, A. F. DE. «Mémoires et observations de chimie», p. 31. Paris, 1784. Le passage cité fut écrit en 1777.

[5] *Idem.* «De utilitate effluviorum elasticorum gas dictorum ad tuendam sanitatem». Paris, 1778.

[6] MCKIE, D. *Endeavour*, **16**, 133, 1957.

[7] LAVOISIER, A.-L. «Œuvres», Vol. IV, p. 419. Paris, 1868.

[8] PERROUD, C. «Lettres de Madame Roland», Vol. I, p. 374. Paris, 1900.

[9] FOURCROY, A. F. DE. «Cours sur les fluides élastiques en 12 leçons. Bibliothèque publique de Dole, MS. 171.

[10] SMEATON, W. A. *Ann. Sci.*, **10**, 87, 1954.

[11] *Idem. Ibid.*, **11**, 257, 1956.

[12] MARAT, J. P. «Les charlatans modernes, ou lettres sur le charlatanisme académique», p. 37. Paris, 1791.

[13] FOURCROY, A. F. DE. *Allg. J. Chem.*, **2**, 478, 1799.

[14] SMEATON, W. A. *J. Inst. Chem.*, **82**, 650, 1958.

Marais salins

par J. A. STEERS

Les marais salins (salt marshes) — de même que dans les tropiques, les marais à palétuviers — sont des régions où se produisent très rapidement des modifications du sol et de la végétation. Cet article décrit cette rapide évolution telle qu'elle se produit sur les côtes de Grande-Bretagne, d'Amérique et des pays tropicaux.

Dans les eaux peu profondes des nombreuses petites criques marines et en particulier derrière les barres de sable et de galets, les conditions sont souvent favorables à l'accumulation d'épais dépôts de boue et de vase. Des algues et des plantes supérieures commencent à coloniser les plages de vase et un tapis de végétation se déploie sur de larges surfaces. Les plantes elles-mêmes entretiennent la vase et il se produit une interaction des facteurs physiques et écologiques à tous les stades de l'évolution d'un marais. La nature de la couverture végétale dépend en partie de la composition du dépôt: sable ou vase. La croissance végétale est aussi en rapport intime avec les conditions de la marée. Aux marées hautes de printemps, le marais entier est recouvert, mais il est complètement à découvert à marée basse. Au cours des mortes-eaux, lorsque l'amplitude de la marée est moindre, les parties les plus élevées du marais ne sont pas recouvertes mais les parties les plus basses peuvent rester submergées pendant quelques jours. L'arrivée des grandes marées à certaines époques de l'année est un facteur important dans la répartition des graines. Dans les régions tropicales, le marécage à palétuviers représente le marais salin des latitudes tempérées; son évolution et sa croissance conduisent également à la formation de nouvelles terres.

Les marais salins de la côte orientale de la Grande-Bretagne sont habituellement caractérisés par une boue épaisse et assez compacte appuyée sur un bas-fond sablonneux. Sur la côte du pays de Galles, il y a beaucoup moins de boue et il y a prédominance de marais sablonneux. Sur la côte méridionale, un grand nombre de marais sont en boue molle et peuvent être dangereux.

Deux des territoires marécageux les mieux étudiés sont ceux de la côte du Norfolk et ceux de l'estuaire de la Dovey. Le long de la côte du Norfolk entre Hunstanton et Weybourne, l'eau est peu profonde et il s'est formé au large des barres de sable et de galets. Scolt Head Island et Blakeney Point sont les deux plus connues. Derrière les barres, il y a des zones d'eau calme où se déposent des sédiments amenés par les marées. Les langues de sable et les barres sont des structures complexes qui présentent plusieurs arêtes ou caps latéraux sur leurs côtés orientés vers le littoral. De ce fait, la zone protégée à l'intérieur est encore plus subdivisée.

L'île de Scolt Head (figures 1–13) reflète parfaitement l'évolution et le développement des marais. L'île consiste en une crête principale de galets, avec des arêtes latérales, le tout reposant sur des plages de sable. Des dunes de sable se sont formées plus tard sur ces arêtes. L'île s'est développée d'est en ouest, quoique des orages puissent parfois emporter des tronçons de sa pointe occidentale. A cet endroit se trouvent les plus récentes crêtes de galets entourant des plages nues et sablonneuses qui présentent les tout premiers stades de la formation des marais. La marée flue et reflue sur ces terrains charriant une grande quantité de matières fines en suspension dont une partie est déposée près des limites du flot, et une autre autour des tas ou des rouleaux d'algues; des déjections de vers arénicoles peuvent produire des dépôts localisés et une partie des matières tombe sur les endroits légèrement plus élevés des plages sablonneuses. Pendant quelques années, il peut ne se produire que peu de modifications perceptibles, mais avec le temps, les plaques de boue, du fait de leur croissance en hauteur et en largeur, commencent à former des îlots mal délimités. Les graines, amenées par l'eau, par les oiseaux et souvent par l'homme, s'y déposent. Si elles germent, alors commence la croissance des plantes. Sur un substratum sablonno-boueux, ce sont vraisemblablement les Salicornes (*Salicornia*) les suédas (*Suaeda maritima*) ou localement les pâturins (*Puccinellia maritima*) qui se développeront les premiers. Sur la boue molle et humide, les *Zostera* spp. sont généralement les premières à pousser. Les plantes elles-mêmes deviennent bientôt des obstructions efficaces et provoquent de nouveaux dépôts. C'est pourquoi, avec le temps,

la marée est de plus en plus enfermée entre des bancs de boue mal délimités et partiellement couverts de végétation. Au fur et à mesure que les bancs s'élèvent en hauteur et se rejoignent, l'eau est de plus en plus reléguée aux criques embryonnaires.

C'est en avion qu'on a la meilleure vue d'ensemble du système des eaux dans un marais (figure 13). Les criques, à la différence des rivières, n'ont pas coupé leurs vallées: ce sont des parties non closes de la surface sur laquelle s'est formée le marais. Leur schéma complexe ressemble à celui d'un réseau fluvial puisqu'il y a des criques principales dans lesquelles s'écoule un grand nombre d'affluents sinueux. Le fond des criques, surtout des plus grandes, fait partie du substratum. Au fur et à mesure que le marais croît en hauteur, les marées qui le recouvrent entièrement sont de moins en moins nombreuses et ceci influe sur le développement de la végétation, comme on peut s'en rendre compte quand on marche à partir des parties basses vers les parties hautes d'un marais typique du Norfolk. Les plages à algues, boueuses et nues, sont remplacées par une végétation vigoureuse de *Salicornia* et de *Suaeda maritima;* l'*Aster tripolium* accompagne ou suit cette association. Sur la surface boueuse, entrelacé parmi ces plantes, il y a souvent un tapis formé de deux herbes marines non enracinées: la *Pelvetia canaliculata* et la *Bostrychia scorpioides*. Il y a ainsi un tapis dense de végétation et c'est à ce stade, quand les inondations se produisent à chaque marée haute, que l'accroissement par alluvion se fait le plus rapidement. Si la surface est constituée de boue molle, les *Zostera* spp. peuvent remplacer les *Aster* et les *Salicornia*. Si la surface est caractérisée par du sable, il peut y avoir une croissance vigoureuse de *Puccinellia*. A des niveaux plus élevés, il y a prolifération d'œillet maritime (*Armeria maritima*), de triglochin maritime (*Triglochin maritima*), de *Spergularia maritima* et de certaines espèces de statices. Aux niveaux les plus élevés, les plantes les plus courantes sont les plantains (*Plantago maritima* ou *P. coronopus*), l'armoise maritime (*Artemisia maritima*) et certaines espèces de joncs.

Le long des criques quand elles sont devenues assez bien délimitées, les plantes caractéristiques sont surtout des *Halimione portulacoides*. C'est une plante buissonneuse poussant bas avec des feuilles vert cendré, qui commence à s'étendre à partir du bord des criques où l'irrigation est bonne. C'est une plante vigoureuse; elle recouvre souvent de larges surfaces de marais, étouffant toute autre végétation.

Une promenade de l'ouest à l'est en traversant les marais de *Scolt Head* permet de les distinguer par rapport à la hauteur et l'âge relatif. Les plus proches sont des plages sablonneuses presque dénudées; viennent ensuite celles sur lesquelles il ne s'est déposée qu'une fine couche de boue et où le réseau de criques est embryonnaire. Puis viennent celles dont la couche de boue est épaisse de 2 cm à 30 cm ou plus. Là où la boue est assez épaisse, les marais sont presque complètement recouverts de végétation et coupés par de nombreuses criques. Quoique les criques proviennent des croissances ascendante et extérieure du marais, il y a des endroits où elles s'allongent en arrière comme conséquence d'une érosion en tête. Si un marais se développe sur une plage sablonneuse légèrement inclinée, il pourrait couvrir la partie inférieure quelque temps avant la partie supérieure. Toutefois, les grandes marées couvrent tout et au reflux, l'eau se concentre aux têtes des canaux et les allonge vers l'arrière.

Les cuvettes salines (*salt pans*) caractérisent presque tous les marais. Ce sont de petits lacs de deux types principaux. Certains sont de forme allongée et doivent visiblement leur origine à l'interruption d'une crique par de petits barrages provoqués soit par la croissance de la végétation, soit par un affaissement du bord de la crique. L'autre type de cuvette saline est généralement rond ou ovale, ou quelquefois irrégulier. Ce sont des bas-fonds où l'eau séjourne et que la végétation, en se propageant sur la surface du marais, finit par entourer. Au fur et à mesure que le marais s'élève, ces cuvettes deviennent mieux délimitées, et comme elles ne sont pas irriguées, elles restent sans végétation. Si on coupe un petit chenal afin que l'eau puisse s'écouler au lieu d'y stagner après les marées de printemps, en un ou deux ans, ces cuvettes se recouvrent de plantes et se présentent comme de très petites dépressions sur la surface du marais.

Les marais du Dovey sont typiques d'un grand nombre de la côte occidentale de la Grande-Bretagne et leur formation dans un estuaire de région montagneuse présente un contraste frappant avec ceux de la côte plate et ouverte du Norfolk. La répartition des plantes est aussi apparente que dans le Norfolk, mais l'absence, absolue ou relative, d'un grand nombre des plantes des marais de l'Est-Anglie, leur donne un aspect très différent.

La fine couche de boue sur le sable, la plus grande étendue de marécage herbeux et la relative absence de couleur sont à signaler. Puisque l'herbe

est localement broutée pendant les mortes-eaux quand la mer ne montera pas assez pour la submerger, la surface a souvent l'aspect d'une pelouse. La fine couche supérieure de dépôt plus fin est retenue par des racines et, puisqu'elle est aisément affouillée et tombe dans les criques, celles-ci diffèrent de celles de l'Est-Anglie. Sur la côte méridionale, la consistance molle de la boue et l'abondance des *Spartina* donnent une apparence uniforme aux marais. Les lecteurs qui connaissent bien Southampton Water et la rade de Poole savent comment les *Spartina* se sont rapidement développées et ont transformé de vastes régions de boue molle et aride en marécage vert. Il y a des espèces indigènes de *Spartina*, mais *S. townsendii* est une hybride entre *S. maritima* indigène et *S. alterniflora* américaine et sa présence a été constatée en Angleterre pour la première fois en 1869.

Du fait que *S. townsendii* retient remarquablement bien les matières solides, on la plante souvent dans des endroits propices pour encourager la formation des marais, soit dans des buts d'assèchement, soit comme facteur de défense contre la mer.

L'épaisseur verticale des dépôts marécageux dépend surtout de deux facteurs. Sur une côte stable, l'épaisseur est fonction de la hauteur de la marée. Plus un marais s'élève, moins il sera recouvert par la mer et sa limite supérieure est régie par les plus hautes marées qui le recouvrent. La profondeur variera avec les légères ondulations de la surface sur laquelle il a poussé. Toutefois, si une côte s'affaisse, les dépôts marécageux peuvent atteindre une bien plus grande épaisseur. La nature de la surface marécageuse dépend en grande partie du taux de submersion. Si la croissance en hauteur du marais équivaut au mouvement descendant de la terre (c'est-à-dire l'élévation du niveau de la mer), ou le dépasse, l'aspect de la surface sera comparable à celui de nombre de marais britanniques.

La vitesse à laquelle les marais se développent en hauteur a été mesurée dans plusieurs endroits. Une mince couche de quelque matière caractéristique, disons un sable coloré, est dispersée en plaques d'environ un mètre carré sur le marais et la végétation. Si on le fait juste avant une forte marée, l'eau balaiera le sable de la végétation et il est alors aisé d'égaliser la plaque sur la surface du marais. Toutes les plaques devront être marquées par un jalon enfoncé dans le marais à environ un mètre de leur emplacement. Après qu'un certain nombre d'années se sont écoulées, ces plaques sont étudiées soit en coupant au

ILE DE SCOLT HEAD (J. A. Steers)

Le marais de Missel est recouvert par la plupart des marées hautes et sa végétation comporte principalement des *Salicornia*, *S. maritima* et *Aster tripolium*. A partir de certaines criques, il commence à se propager des *H. portulacoides*. Les mesures de l'épaisseur des sédiments en cm commencèrent en 1935 et les nombres suivants correspondent aux stations où des enregistrements ont été faits dans trois années différentes. La station N° 1 se trouve au sommet du marais.

N° de la Station	1937 (*cm*)	1947 (*cm*)	1957 (*cm*)
2	1,25	8,5	20,0
3	1,25	7,5	17,0
4	1,75	12,5	22,0
9	1,70	9,4	14,0
10	2,50	14,0	23,0
14	1,72	10,0	20,0
16	1,55	11,3	15,0
20	1,72	11,0	19,0
21	1,80	10,5	23,0
22	1,63	10,5	20,0
23	1,60	11,5	17,0
26	1,85	9,8	18,0
30	1,95	12,0	19,0
32	1,60	10,5	17,0
34	1,60	12,5	20,0
35	0,75	10,5	22,0

MARAIS DE DOVEY (F. J. Richards)

Les mesures ont été faites au cours de 100 et 54 mois respectivement et les deux lignes coupent toutes les zones de végétation.

Ligne 1, 120 m environ.

Association	*Accroissement en cm pendant 100 mois lunaires*	*Nombre d'observations*
Glycerietum	6,61	8
Transition *Glycerietum -Armerietum*	5,53	7
Armerietum	3,53	30
Transition *Armerietum-Festucetum*	2,00	1
Festucetum	1,75	4
Juncetum	2,03	3

Ligne 2, 75 m environ.

Association	*Accroissement en cm pendant 54 mois lunaires*	*Nombre d'observations*
Glycerietum	3,67	6
Glycerietum-Armerietum ..	6,93	2
Armerietum	4,09	15
Festucetum	3,38	6
Festucetum-Juncetum	4,60	1
Juncetum	2,25	1

NOTA. Le suffixe *-etum* ajouté au nom d'une plante indique qu'elle est la dominante de l'association.

FIGURE 1 – *Plages sablonneuses: commencement d'une mince couche de boue. Algues en rouleaux. Stade très précoce de la formation d'un marais. (Les figures 1 à 13 se rapportent à l'île de Scolt Head, dans le Norfolk.)*

FIGURE 2 – *Stade plus avancé: des criques ont commencé à suivre un cours bien déterminé, mais la végétation se compose encore principalement d'algues.*

FIGURE 3 – *Zones de végétation dans le Missel Marsh inférieur. Invasion d'*Aster *dans les* Salicornia *et les* S. maritima. *Algues et vase nue aux niveaux inférieurs.*

FIGURE 4 – *Marais à* Salicornia: *un marais au stade peu développé. Il est entouré d'arêtes de galets et la végétation* (1958) *se modifie rapidement. Les* Salicornia *sont remplacés par des statices, des* Spartina, *etc.*

FIGURE 5 – *Les* Suaeda fruticosa *se développent couramment à la tête d'un marais et au pied d'une arête de galets.*

FIGURE 6 – *Cuvettes salines dans le Missel Marsh. La forme arrondie et le contour net sont typiques.*

FIGURE 7 – *Une crique dans le Missel Marsh. Les rives sont bordées d'*Halimione *et les bancs de boue de la crique qui sont plus fréquemment recouverts par la marée sont couverts de* Salicornia, *etc.*

FIGURE 8 – *Variétés de* Spartina, *y compris* S. townsendii *dans le Norton Creek. Les* S. townsendii *se propagent beaucoup trop rapidement dans les marais du Norfolk et modifient complètement leur aspect.*

FIGURE 9 – *Une crique dans le Missel Marsh, qui s'allonge en arrière du fait qu'elle est creusée par des apports d'eau quand la marée baisse et ne recouvre plus le marais surplombant la crique.*

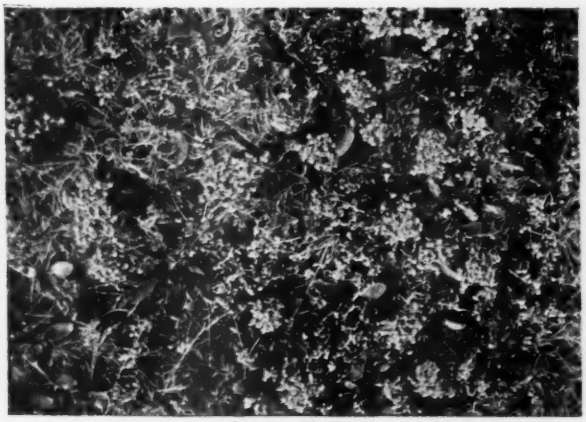

FIGURE 10 – *Statices* (Limonium humile).

FIGURE 11 – *Spiral Marsh: un marais à embouchure étroite entre les arêtes de galets. Les sinuosités de la crique lui ont donné son nom.*

FIGURE 12 – *Vue générale sur les marais de Scolt, prise d'un point située sur les dunes les plus élevées le long de la mer en regardant vers Beach Point et Brancaster Staithe.*

FIGURE 13 – *Photographie aérienne d'une partie de l'île de Scolt Head. Les détails des marais, des criques, des cuvettes salines, de la végétation et des arêtes de galets sont clairement visibles. (Tous droits réservés. Photographe: J. K. St. Joseph.)*

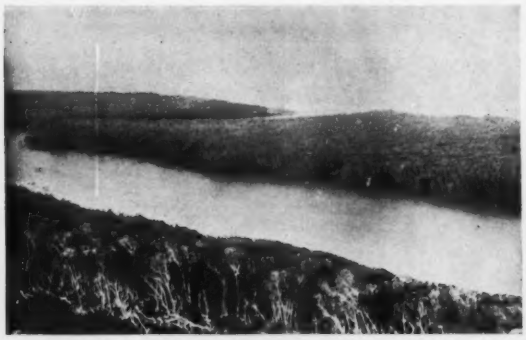

FIGURE 14 – *Palétuviers sur la côte nord de l'île de Howick, dans la Grande Barrière de Récifs.*

FIGURE 15 – *Intérieur d'un marécage de palétuviers. Ile de Newton, dans la Grande Barrière de Récifs.*

FIGURE 16 (*à gauche*) – *Palétuviers au nord-ouest de l'Ile de King, dans la Grande Barrière de Récifs.*

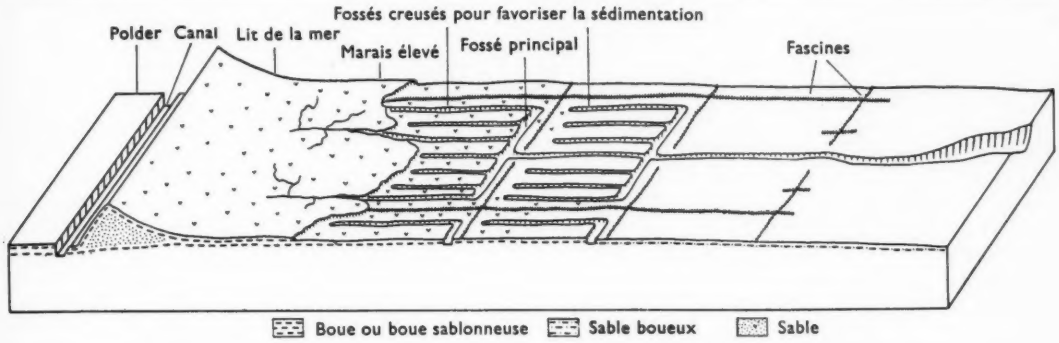

FIGURE 17 – *Disposition schématique des processus de sédimentation. (D'après F. Verger.)*

couteau, soit en enfonçant un tube tranchant dans le marais de manière à ramener une petite carotte témoin. La quantité de sédiment accumulé sur le sable peut être facilement mesurée. Elle variera d'un endroit à l'autre. Elle atteint généralement son maximum sur les bas marécages ou les marais de hauteur moyenne couverts de végétation épaisse et inondés à la plupart des marées hautes. A des niveaux plus élevés, le nombre des inondations est moindre et l'accroissement en hauteur du marais est plus lent. Aux niveaux inférieurs, il est généralement impossible d'employer cette méthode puisque l'eau enlève le sable de la boue nue. Les tableaux ci-dessous donnent quelque idée des vitesses de croissance dans deux différents secteurs.

De nombreux marais sont partiellement entourés de dunes. Quand cela se produit, le sable peut être amené sur le marais soit par le vent soit par l'eau des grandes marées. Ceci favorise la croissance du marais en hauteur. Parfois une arête caillouteuse s'ébrèche et des galets et d'autres éléments grossiers se répandent sur la surface marécageuse. Ces deux éventualités expliquent comment il peut se produire des types mixtes de sédiments.

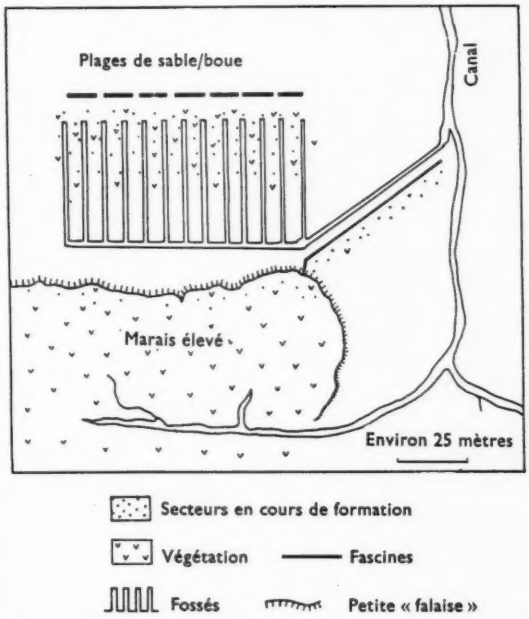

FIGURE 18 – *Plan simplifié de la sédimentation à Rejsby, au Danemark. (D'après F. Verger.)*

Il semble que la plus grande étendue de marais salins du monde soit celle de la côte orientale des Etats-Unis. Du Maine à la Floride, il y a une magnifique prolifération de cordons littoraux et de plages sur lesquels ont été construites un grand nombre de stations balnéaires. A l'intérieur, il y a une large zone marécageuse coupée par de nombreuses criques avec de petites anses profondes à ramifications. Un vol en avion le long de cette côte est des plus révélateurs. Les marais diffèrent du nord au sud et on a pu en constater trois types différents. En Nouvelle-Angleterre, les marais sont surtout des tourbières salées grises et brunes avec des quantités variables de limon qui repose sur une tourbe profonde brune ou noire d'eau saumâtre ou fraîche. En surface il y a quatre zones principales de végétation — *Juncus* en haut, puis *Spartina patens*, la zone la plus large, ensuite *Spartina alterniflora* et enfin *Zostera* dans un secteur presque constamment submergé. Plus au nord, les marais de Fundy sont différents et se composent de boue molle rouge ou parfois de vase dure. La surface est souvent dénudée et même quand il y a de la végétation celle-ci est plutôt clairsemée. Une grande partie de ces marais a été asséchée. Les plantes sont les mêmes

qu'en Nouvelle-Angleterre sauf que le secteur *Zostera* n'existe pas, probablement à cause des fortes marées dont la hauteur dépasse 15 m par endroits. La boue est assez ferme et provient des grès et schistes tendres qui entourent la baie. Dans le marais du Grand Tantramar, 25 m de boue recouvrent 60 cm de tourbe d'eau fraîche, indice évident d'affaissement.

Au sud de la Nouvelle-Angleterre et s'étendant jusqu'en Floride se trouve le troisième type de marais: les marais côtiers plats. Ils sont caractérisés par *S. alterniflora*. Les dépôts atteignent une épaisseur moyenne de 3 à 6 m et consistent en une boue ou argile gris bleuâtre avec un peu de tourbe. On a pensé que les roches plus tendres adjacentes à la côte sud du New Jersey fournissaient une boue abondante pour la formation du type côtier plat tandis qu'au nord du New Jersey les roches sont plus résistantes et que les blocs alluvionnaires sont lâchés dans les lacs et bas-fonds. Ainsi le sédiment minéral des marais est subordonné aux reliquats végétaux, surtout les herbes.

Dans les Tropiques, les palétuviers remplacent les plantes peu élevées des latitudes tempérées. Des centaines de kilomètres de côtes, surtout aux embouchures des rivières, sont bordés de palétuviers (figures 14–16). Ces arbres sont caractéristiques des côtes boueuses quelque peu abritées et où la terre gagne sur la mer. On les trouve aussi, à quelque distance de la terre, sur des récifs, de corail ou autres. Partout où les palétuviers se développent bien, ils entraînent un développement des terres en hauteur et vers l'extérieur, soit en bloquant les sédiments transportés dans l'eau soit par leur propre décomposition. Sur les récifs de corail, il y a souvent un rapport étroit entre eux et la stabilisation des arêtes de galets de corail. Sur de nombreux îlots de corail à l'intérieur de la principale barrière de la côte du Queensland, ainsi que sur plusieurs cayes autour de la Jamaïque et ailleurs, les palétuviers prennent racine sur le récif et poussent jusqu'à des hauteurs de 10 mètres, ou plus. Les îles sont en pleine mer et la première impression qu'elles suscitent est celle d'une forêt sortant directement de la mer. Au cours de leur propagation sur les récifs, les palétuviers sont souvent flanqués d'angiospermes marins: soit les *Thalassia testudinum* et les *Cymodocea manatorum*, soit parfois l'herbe *Spartina alterniflora*.

Le mot «palétuvier» désigne à la fois un groupe écologique de plantes vivant dans une zone maritime tropicale et aussi des agglomérations composées de ces espèces. Les arbres et les arbustes, comme les plantes des marais salins, poussent dans des secteurs selon leur degré de submersion par la marée. Les *Rhizophora mangle* (palétuvier commun), formant une forêt dense haute de 9 mètres ou plus, sont les premiers. Puis viennent les *Avicennia*, à des niveaux un peu plus élevés; mais sur les récifs de corail, on peut les trouver plus près de la mer que les *Rhizophora* parce qu'ils poussent sur des arêtes de galets légèrement plus hautes. Le long des côtes tropicales, l'association d'*Avicennia* pousse mieux sur des terres qui ne sont pas régulièrement recouvertes par la marée. A l'intérieur, il peut y avoir encore une autre espèce, le *Conocarpus*. Il est fréquemment accompagné de multiples autres arbres et herbes.

La récupération des marais salins ne doit pas être trop vite tentée. Il faut qu'une épaisseur considérable de sédiment recouvre une zone de marécage naturel avant qu'on puisse l'entourer d'un mur. Dans de nombreux endroits, notamment au Danemark et dans l'Allemagne du nord-ouest, on prépare la mise en valeur des marais en creusant à la main ou mécaniquement des digues peu profondes et en buttant les matières enlevées pour encourager la sédimentation (figures 17 et 18). En Angleterre, les assèchements autour du Wash ont donné au pays plus de 18 000 hectares depuis l'occupation romaine. Un voyage au Wash révèle que lorsqu'on approche de la côte, le niveau du terrain s'élève peu à peu. La même particularité se retrouve tout autour des côtes britanniques, là où un mur sépare un marais asséché d'un marais laissé tel quel. Le premier est stabilisé et irrigué tandis que le dernier s'enrichit encore de sédiment. Si l'assèchement est fait trop vite la profondeur de la couche de limon fertile est insuffisante.

BIBLIOGRAPHIE

TANSLEY, A. G. «The British Islands and their Vegetation». Cambridge University Press, Londres. 1939.

STEERS, J. A. «The Coastline of England and Wales». Cambridge University Press, Londres. 1948.

Ibid. (publié par). «Scolt Head Island» (2e édition). Heffer, Cambridge. 1959.

CHAPMAN, V. J. *J. Ecol.*, **26**, 144, 1938; **27**, 160, 1939.

JOHNSON, D. W. «New England-Acadian Shoreline». John Wiley & Sons Inc., New-York. 1925.

RICHARDS, P. W. «The Tropical Rain Forest». Cambridge University Press, Londres. 1952.

«The Structure and Ecology of Low Isles and Other Reefs». *Sci. Rep. Gt. Barrier Reef Exped.*, III, 1931.

STEERS, J. A. *Geogr. J.*, **74**, 232, 1929; **89**, 1, 1937.

VERGER, F. *Ann. Géogr.*, **65**, 270, 1956.

L'analyse chimique par spectroscopie de fluorescence des rayons X

par E. T. HALL

Il y a longtemps qu'on a compris la théorie de la spectroscopie aux rayons X mais ce n'est que depuis 1945 que son application s'est vraiment développée grâce à la mise au point de nouveaux appareils et circuits électroniques. Nous évoquerons ici ces appareils et certains des résultats qu'ils permettent, notamment la découverte de la nature du crâne de Piltdown.

En 1914 H. G.-J. Moseley établissait les principes fondamentaux de la spectroscopie aux rayons X, tandis que ses successeurs en étudiaient l'application à l'analyse chimique [1–4]. Cette technique permit de découvrir cinq des éléments dont la case était vide dans la classification périodique (l'hafnium, le technétium, le rhénium, le prométhium et le francium) mais c'est depuis 1950 que les progrès les plus importants ont été faits dans ce domaine. Amorcée par le développement d'appareils nouveaux, compteurs Geiger de faibles énergies et tubes de petites dimensions pour rayons X de haute puissance, cette avance a abouti à la manufacture commerciale de spectromètres pour rayons X fluorescents.

BASES THÉORIQUES

Le principe des premières expériences consiste à soumettre l'échantillon examiné à une excitation primaire: qu'il constitue l'objectif même d'un tube à rayons X, ou que l'objectif propre de métal massif en soit recouvert. Des électrons du filament incandescent frappent cet objectif, qui émet dès lors des rayons X dont l'énergie correspond à la répartition type de la figure 1. Les sommets pointus sont caractéristiques des éléments et se superposent sur un continu «blanc». La position de ces sommets forme la base de l'analyse qualitative aux rayons X; la hauteur au-dessus du continu doit en principe donner la teneur de l'élément présent dans l'objectif. Le mode d'excitation de ces lignes est élucidé sur la base du modèle simplifié Bohr-Kossel de l'atome. Les électrons satellites du noyau se répartissent en plusieurs couches appelées K, L, M, etc. Pour arracher un électron de la couche la plus proche du noyau il faut un maximum d'énergie, c'est-à-dire que les électrons de bombardement dépassent un «potentiel critique d'excitation» donné. L'électron éjecté est aussitôt remplacé par un autre de la couche suivante avec émission d'un rayon X de la série K. Sous un potentiel d'excitation moindre il y aura émission de rayons X de la série L, et alors des électrons de la couche M remplacent ceux qui ont été éjectés de la couche L. Même dans cette représentation très simplifiée il y a lieu de retenir que le nombre de raies qu'un élément peut donner est nettement moindre dans la région optique du spectre. En spectrométrie pratique on ne tient compte que de cinq raies par élément; on néglige les autres en raison de difficultés expérimentales. Dans la plupart des cas il est avantageux qu'on ne puisse mesurer que peu de raies car ceci diminue le risque d'interférence.

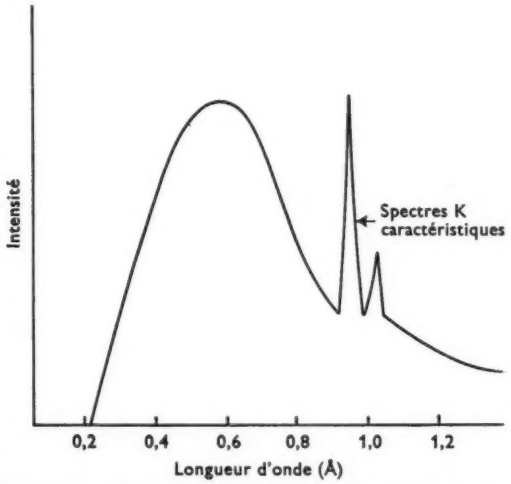

FIGURE 1 – *Spectre continu de rayons X avec raies caractéristiques superposées.*

Ce type de spectrométrie à rayon X «primaire», où l'échantillon est à l'intérieur du tube, présente de sérieux désavantages: difficultés inhérentes aux tubes démontables, à la décomposition thermique et à la volatilisation sélective de l'échantillon. Afin d'éviter ces inconvénients on

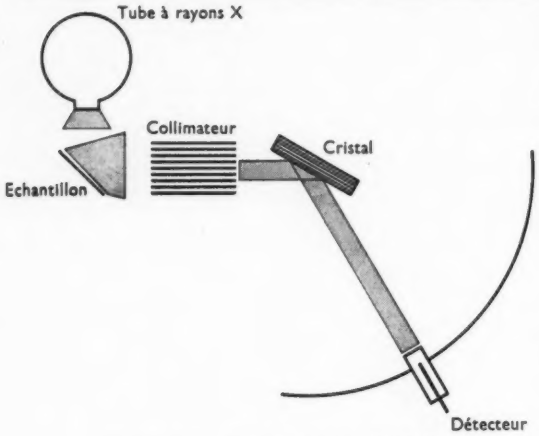

FIGURE 2 – *Spectromètre à cristal plan.*

peut faire appel au phénomène de «rayons X secondaires» ou fluorescence par rayons X. Ici on place l'échantillon à l'extérieur du tube de rayons X et on l'irradie avec le rayonnement primaire blanc: en conséquence l'échantillon émet des rayons X fluorescents ayant les mêmes longueurs que celles qui s'étaient superposées sur le continu dans la méthode de spectrométrie primaire, mais ici le continu n'est plus excité. Une grande proportion du rayonnement blanc est diffusée et les sommets caractéristiques résultants sont beaucoup plus petits que ceux donnés par le bombardement électronique. Néanmoins, on peut obtenir une intensité suffisante pour des analyses quantitatives précises et rapides en utilisant les nouveaux tubes à haute intensité et en bombardant une grande superficie de l'échantillon.

On utilise deux types principaux de spectromètres pour séparer le rayonnement fluorescent en longueurs d'onde composantes. Dans le type à «cristal plat» (figure 2), les rayons secondaires sont collimatés par de longs faisceaux de tubes étroits à paroi mince ou par des lames parallèles minces. Le faisceau collimaté tombe sur un grand cristal d'une constante de réseau connue, et lorsque ce cristal obéit à la condition de Bragg de réflexion pour une longueur d'onde donnée, une proportion des rayons ayant cette longueur d'onde est réfléchie dans le détecteur.

Quelles que soient les conditions, le rayonnement de cette longueur d'onde sera réfléchi. Le détecteur est axé au cristal de façon à recevoir automatiquement les rayons réfléchis. En tournant lentement le cristal et le détecteur on peut examiner le spectre tout entier de l'échantillon.

Ce type de spectromètre est très simple mais son défaut est l'atténuation du faisceau incident au cristal provoquée par la collimation imposée par le système à fentes. Notons cependant que le degré de collimation nécessaire est proportionnel à la finesse de séparation désirée.

On peut augmenter l'intensité «utile» en employant un cristal courbe analogue au réseau réflecteur concave du spectromètre optique. La figure 3 illustre ce principe. Une source ponctuelle de rayons fluorescents irradie une zone d'un cristal dont les plans cristallins ont été courbés suivant un arc de cercle de rayon R et dont la surface interne a été rodée suivant un cercle de rayon $R/2$. Cette surface interne se trouve sur un cercle passant par la source ponctuelle. Une radiation de longueur d'onde λ touchant les plans cristallins à un angle θ convergera sur le même cercle que la source. Bien que ce type de spectromètre fournisse au détecteur une réflexion plus accentuée, la géométrie du système exige un mécanisme bien plus compliqué que le spectromètre plan simple. D'autre part, comme on «regarde» une source ponctuelle au lieu d'une surface de près de 3 cm², on perd le bénéfice d'un facteur précieux d'intégration.

PORTÉE ET LIMITATIONS DE LA MÉTHODE

L'énergie des rayons X secondaires caractéristiques varie avec le nombre atomique de l'élément. Si cette énergie est trop faible, la radiation ne pourra traverser l'air situé entre l'échantillon et le détecteur. C'est le cas des éléments dont le nombre atomique est moindre que celui du titane. Néanmoins, on peut utiliser un spectromètre

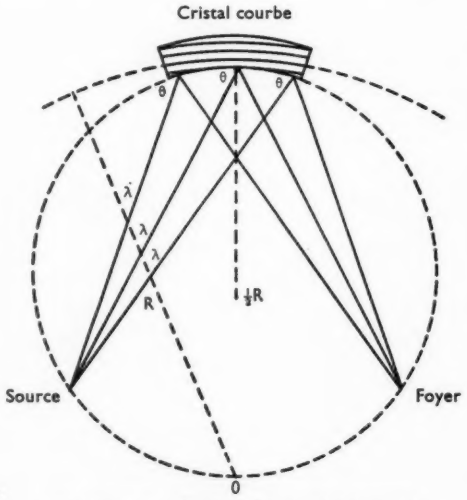

FIGURE 3 – *Spectromètre à cristal courbe.*

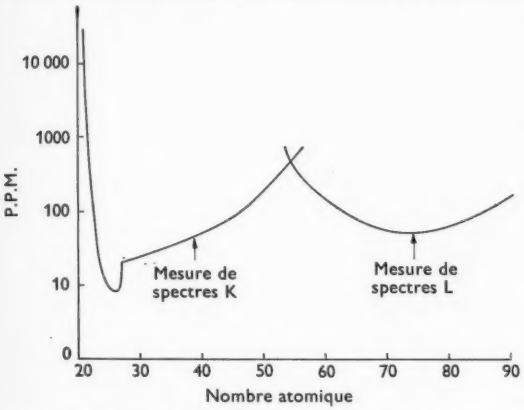

FIGURE 4 – *Courbe de la sensibilité en fonction du nombre atomique.*

rempli d'hélium ou mis sous vide pour les éléments allant du magnésium au titane, mais pour les éléments plus légers que le magnésium, même cette technique devient inutilisable parce que la fenêtre du détecteur est trop absorbante.

La sensibilité de la méthode pour un élément particulier dépendra de bien des facteurs, tels que le degré de résolution spectrale désiré, la réflectivité du cristal, le type de détecteur employé et l'énergie du faisceau de rayons X primaires. En outre, quand on recherche une impureté en trace, l'élément principal de l'objectif exerce une grande influence sur la sensibilité. A cause de ces variables il est difficile de comparer cette méthode aux autres sous l'angle de la sensibilité. La figure 4 en donnera toutefois une idée: on y verra la sensibilité d'un instrument particulier dans la mesure de tous les éléments possibles d'un objectif de fer lorsqu'on emploie un spectromètre à parcours dans l'air.

COMPARAISON AVEC LA SPECTROSCOPIE OPTIQUE

Un moyen commode d'évaluer la spectroscopie aux rayons X est de la comparer à la spectrographie optique. Nous pensons qu'on doit considérer les deux techniques comme étant complémentaires; ce n'est certainement pas encore le moment de considérer le chimiste analytique et la spectrographie optique comme périmés.

La méthode aux rayons X convient particulièrement bien aux éléments ayant un nombre atomique supérieur à 20 et présents en concentrations allant de 0,1 à 100%, tandis que le spectromètre optique s'applique le mieux pour la détection de la plupart des éléments de la classification à l'état de traces de 0,0005 à 5%. Les difficultés inhérentes à l'extension de la méthode des rayons X aux éléments dont le nombre atomique va de 11 à 20 ne sont pas insurmontables, certes, mais elles la rendent peu pratique. Il faut souligner, par contre, qu'on ne peut s'attaquer aux concentrations au-delà de 10% avec la méthode optique, alors que ce sont précisément ces mélanges auxquels s'applique la spectrométrie aux rayons X.

Il n'y a pas de doute que pour les travaux de laboratoire sortant de l'ordinaire les méthodes aux rayons X sont plus rapides parce que la partie photographique est éliminée. Pour donner des résultats valables les deux techniques doivent être étalonnées. Il est vrai que les spectromètres optiques à lecture directe, où des résultats quantitatifs sont obtenus par photomultiplication, sont tout aussi rapides que des instruments analogues que l'on signale actuellement dans le domaine des rayons X. Les rayons X l'emportent parfois sur l'étincelle ou l'arc optique parce qu'ils permettent d'examiner des échantillons précieux ou des articles finis sans les détruire.

La structure de raies spectrales est infiniment plus simple dans la région des rayons X. En fait il y a des problèmes que seule la méthode des rayons X peut résoudre parce qu'il y a interférence de raies dans la région optique; les mélanges de tantale, de niobium et de terres rares en sont des exemples notoires.

Dans le travail quantitatif la précision possible devrait être plus grande par les rayons X que par les méthodes optiques basées sur l'émission. Dans la spectrométrie à rayons X on compte des quanta arrivant au hasard, et tout ce qu'il faut faire pour accroître la précision c'est de compter un plus grand nombre de quanta, c'est-à-dire prolonger la période d'enregistrement. Cela signifie, en pratique, que pour atteindre une précision de l'ordre de 1% pour la teneur d'un constituant principal il suffit parfois d'une seconde d'observation, tandis que pour les éléments mineurs il faut souvent plus d'une minute par élément. Ces durées sont remarquables, quand on les compare aux heures qu'il faut pour la plupart des méthodes conventionnelles d'analyse chimique.

L'état de combinaison chimique n'intervient ni dans l'une ni l'autre méthode bien qu'il vaille mieux procéder à l'étalonnage sous des conditions identiques. A vrai dire nous avons trouvé que l'on peut obtenir des résultats très approchés en employant des solutions au lieu de solides lorsque c'est possible, et des solutions normales sont assez faciles à préparer. En spectrométrie optique ce

sont des molécules et non des atomes qui entrent en jeu dans l'excitation. C'est l'inverse dans le spectre des rayons X. C'est pourquoi la combinaison a une importance capitale en spectrométrie optique, et les résultats obtenus avec des mélanges de sels ou des solutions ne ressemblent pas du tout, quelquefois, à ceux que donnent les éléments purs.

A l'heure actuelle plusieurs firmes produisent en gros, à bon compte, l'équipement optique. Par contre, l'appareillage de fluorescence des rayons X est souvent fourni comme annexe à l'appareil de diffraction des rayons X, ce qui n'est pas aussi satisfaisant qu'un appareil conçu spécialement pour la tâche. De plus, l'équipement de diffraction comprend un dispositif de balayage, alors qu'en fluorescence il nous faut des mesures uniquement au sommet des pics connus.

FIGURE 5 – *Spectromètre automatique moderne à rayons X fluorescents.*

AVENIR DE LA MÉTHODE

Il y a des possibilités intéressantes pour le développement de l'analyse par la fluorescence des rayons X. L'amélioration la plus logique serait bien l'extension de la méthode aux éléments à petit nombre atomique. Le problème mécanique ainsi posé est en voie de résolution au moyen du spectromètre sous vide. Avec des cristaux et des détecteurs appropriés on déterminera les éléments situés entre l'aluminium et le titanium aussi facilement que les éléments plus lourds. La mise au point de multiplicateurs électroniques progresse convenablement, et l'on peut s'attendre à ce que l'analyse par rayons X couvre la classification périodique tout entière dans quelques années.

Certains chercheurs examinent la spectrométrie non dispersante aux rayons X. En employant un circuit détecteur capable de sélectionner la hauteur d'impulsion on pourrait obtenir des résultats correspondants à ceux qu'on a avec la résolution spectrale donnée par diffraction d'un cristal. Cela présenterait deux avantages: supprimer les parties mécaniques mobiles et accélérer le dénombrement et, partant, la vitesse de l'analyse. Mais il y a là des difficultés pratiques considérables.

L'application de radio-isotopes, au lieu du tube à rayons X et du générateur, comme source d'excitation de rayons X secondaires à partir de l'échantillon, est une possibilité attrayante. Bien que le rendement secondaire soit très inférieur à celui d'une source de rayons X à haute puissance ce désavantage pourrait être compensé en maintes applications par les caractéristiques suivantes: stabilité, élimination du volumineux générateur à haute puissance et la nature monochromatique du rayonnement d'excitation.

Le progrès le plus marquant de la spectroscopie aux rayons X ces dernières années aura été, sans doute, l'essai de diverses techniques avec des microsondes électroniques inaugurées par Castaing [7–9]. Dans cette méthode on concentre un faisceau d'électrons de 1 micron de diamètre à peine sur l'échantillon et l'on décèle les rayons X caractéristiques résultants avec un spectromètre à cristal courbe. De cette manière on peut étudier en détail la microstructure de métaux et d'autres matériaux.

QUELQUES APPLICATIONS

L'analyse par fluorescence des rayons X convient le mieux pour les échantillons archéologiques et tout objet qu'il importe de ne pas endommager. Le laboratoire d'Oxford pour l'archéologie et l'histoire de l'art procède journellement à des analyses de ce genre depuis des années. Un des premiers problèmes qui se soient présentés fut l'analyse des fragments crâniens et des silex de Piltdown. La question était de savoir si les os et les silex avaient été teints artificiellement avec un pigment inorganique afin d'imiter la couleur ferrugineuse qu'acquièrent les objets enterrés dans

le terrain où l'on prétendait les avoir trouvés. C'était réellement le problème parfait pour le spectromètre aux rayons X, et de plus il remplissait la condition essentielle par son caractère non destructeur. La teinture (si c'en était une) serait localisée à la surface de l'échantillon et produirait, par conséquent, une forte fluorescence — plus forte que celle de la même quantité répandue dans l'échantillon tout entier — même s'il n'y en avait que quelques milligrammes. En fait les fragments du crâne et les silex donnèrent un pic important pour le chrome, prouvant ainsi que le composé se trouvait principalement à la surface. Des fossiles authentiques similaires n'ont jamais ce pic. On conclut en définitive que le faussaire avait imité des objets enfouis véridiques en faisant bouillir des os de singe contemporains dans une solution de bichromate de potassium. Nous l'avons essayé et avons obtenu des résultats très semblables, tant pour l'apparence que pour les mesures de la fluorescence finale.

Le fait que c'est la surface de l'échantillon qui est analysée plutôt que les couches sous-jacentes représente un avantage ou un inconvénient selon le cas. Dans l'industrie de l'étamage, la fluorescence aux rayons X du fer permet de mesurer l'épaisseur de la couche d'étain dont il est recouvert. Les rayons X primaires frappant la tôle seront atténués, tout comme le rayonnement secondaire allant du fer au détecteur.

Inversement, dans le domaine de l'archéologie, lorsqu'on analyse des objets enterrés depuis des siècles, des pièces par exemple, on trouve parfois que l'analyse apparente s'écarte considérablement de la valeur moyenne donnée par des méthodes telles que la spectrométrie par les rayons gamma. Ceci provient de l'enrichissement d'un constituant aux dépens de l'autre. Les valeurs données par la fluorescence aux rayons X doivent donc être acceptées avec prudence. Des recherches en cours à Oxford ont pour but d'élucider le problème de l'enrichissement en surface. Il se peut que les constituants les plus solubles de la pièce soient éliminés par solution dans le sol, ou bien qu'un constituant migre progressivement vers la surface. Si la dernière hypothèse est vraie nous disposerions d'une méthode intéressante pour fixer l'âge d'objets métalliques anciens.

L'analyse du verre et de la céramique par la voie humide présente un sérieux problème pour les chimistes inorganiciens. Les rayons X sont d'un apport inestimable dans ce domaine, puisqu'on n'a pas besoin de dissoudre l'échantillon. Bien que plusieurs des éléments constitutifs se présentent dans la région du «spectromètre à vide», ce problème sera résolu, comme nous l'avons vu, lorsque l'équipement approprié sera en place. Il suffira de citer deux exemples dans le domaine de l'archéologie. Le pigment bleu d'une porcelaine chinoise bleue et blanche avait été fabriqué au début de l'époque Ming à partir d'un minerai de cobalt importé qui se trouvait être exempt de manganèse. Or, à partir de la fin de la même époque, on s'est servi d'un pigment indigène riche en manganèse. Comme il est difficile de discerner la porcelaine du XVIIIe siècle des pièces anciennes, l'analyse par les rayons X permettant d'identifier le manganèse sans détruire la matière sera d'un grand secours.

Les applications industrielles actuelles semblent se limiter à l'analyse d'alliages riches ou de mélanges difficiles à analyser par d'autres méthodes. Dans la première catégorie citons la détermination du cuivre et du zinc dans le laiton, du cuivre, du zinc et du plomb dans des concentrats pulvérisés de minerais, et l'analyse des alliages Nimonic. Dans l'autre, citons l'analyse de mélanges des terres rares, du niobium et du tantale, de l'hafnium et du zirconium et des métaux du groupe platine; dans tous ces cas la spectrométrie aux rayons X est nettement supérieure à toutes les autres méthodes d'analyse.

On se rend trop peu compte des possibilités de cette méthode pour l'analyse des solutions très diluées. Par exemple, il suffit d'imbiber un papier filtre avec une solution de seulement 10^{-8} g de presque n'importe quel élément pour provoquer une réaction suffisante pour l'identifier, et dans bien des cas on peut déceler un élément dans une solution à moins d'un millionième.

BIBLIOGRAPHIE

[1] VON HEVESY, G. «Chemical Analysis by X-rays and its Application». McGraw-Hill Book Co. Inc., New-York. 1932.

[2] LABY, T. H, EDDY, C. E. et TURNER, A. H. *Proc. roy. Soc. A.*, **135**, 637, 1932.

[3] CLARK, G. L. «Applied X-rays». McGraw-Hill Book Co. Inc., New-York. 1940.

[4] FONDA, G. R. et COLLINS, G. B. *J. Amer. chem. Soc.*, **54**, 115, 1932.

[5] FRIEDMAN, H. et BIRKS, L. S. *Rev. sci. Instr.*, **19**, 323, 1948.

[6] BIRKS, L. S. *Ibid.*, **22**, 891, 1951.

[7] CASTAING, R. et DESCAMPS, J. *J. Phys. Rad.*, **16**, 304, 1955.

[8] COSSLETT, V. E., DUNCOMB, P., LONG, J. V. P. et NIXON, W. C. 6th Annual X-ray Conference, Denver. 1957.

[9] BIRKS, L. S. et BROOKS, E. J. *Loc. cit.*

Le Conseil International des Unions Scientifiques

par SIR HAROLD SPENCER JONES

L'Année Géophysique Internationale, qui a pris fin le 31 décembre 1958, est la plus vaste entreprise scientifique de caractère international qui ait jamais été conçue. Elle a été organisée par un Comité Spécial du Conseil International des Unions Scientifiques. Ce n'est d'ailleurs qu'une des réalisations de ce Conseil, dont l'auteur, qui en fut le Secrétaire-Général de 1956 à 1958, retrace ici l'origine et les activités. Il donne également un aperçu du programme des travaux futurs de l'ICSU.

Avant la première guerre mondiale, la coopération internationale s'opérait par l'entremise d'un certain nombre d'associations dont chacune s'occupait d'un domaine très restreint d'une des diverses disciplines. La plupart avaient été fondées au cours de la deuxième moitié du XIXe siècle, certaines en vertu de conventions entre gouvernements. Mais la majorité devaient leur existence au patronage de l'Allemagne et, pendant la guerre, leurs activités furent presque interrompues. Lors d'une conférence tenue à Londres en octobre 1918, une résolution fut prise à l'effet que les nations en guerre avec les Puissances Centrales dénonceraient les conventions existantes relatives aux associations scientifiques internationales dès que les circonstances le permettraient, et que de nouvelles associations considérées comme favorables au progrès des sciences et de leurs applications seraient créées par les Alliés avec la collaboration éventuelle de pays neutres.

La guerre prit fin le mois suivant et le savant américain George Ellery Hale suggéra la formation d'un conseil international de recherches qui procéderait à la création de nouvelles associations destinées à coordonner les travaux dans les divers domaines de la science. Sur l'initiative commune de l'Académie des Sciences de Paris, la *Royal Society* de Londres, et la *National Academy of Sciences* de Washington, le Conseil International de la Recherche (CIR) fut créé en 1919. Ses objectifs primordiaux étaient de coordonner les travaux internationaux dans les divers domaines de la science pure et appliquée et de jeter les bases d'associations et d'unions internationales jugées utiles aux progrès de la science.

Les statuts des Unions fondées sous l'égide du Conseil devaient recevoir l'approbation de celui-ci, et seules les nations alliées et neutres étaient admises à faire partie du Conseil et des Unions. En 1919, l'Union Astronomique et l'Union Géodésique et Géophysique Internationales virent le jour, ainsi que l'Union Internationale de Chimie, et les années suivantes ce fut le tour des Unions Internationales Radio-scientifique, et Géographique, et celles de Physique pure et appliquée, et des Sciences biologiques.

Cependant l'impression se généralisait que la collaboration scientifique internationale ne pourrait être une réalité tant que les Puissances Centrales seraient tenues à l'écart du Conseil et des Unions scientifiques. Dès 1925 lors de l'Assemblée Générale du CIR le délégué des Pays-Bas présenta une motion à l'effet que les statuts soient amendés de façon à permettre l'admission des Puissances Centrales. Bien que vivement secondée par les délégations danoise, suédoise, britannique et américaine, la motion ne rallia pas suffisamment de suffrages. Les Unions, d'autre part, se jugeaient réduites à l'inaction et à l'inutilité par les restrictions que leur imposaient les Statuts du CIR.

Or, la Convention portant création du Conseil International arrivait à expiration le 31 décembre 1931, sauf renouvellement préalable. La *Royal Society* de Londres proposa donc à l'Assemblée Générale du CIR réunie en 1928, la formation d'un Comité qui aurait mandat d'examiner tout amendement éventuel aux Statuts du CIR et des Unions, susceptible de prendre effet à l'expiration de la Convention. Cette motion fut adoptée à l'unanimité et le rapport du Comité en question eut pour résultat la transformation en 1931 du Conseil International de la Recherche en Conseil International des Unions Scientifiques (ICSU). Celui-ci, conformément à ses statuts devait servir de lien entre les organismes nationaux adhérents de même qu'entre les diverses Unions Internationales. Il devait en outre diriger l'activité

scientifique dans tout sujet qui n'entrait pas dans le cadre d'une union scientifique. D'autre part, chaque Union devenait complètement autonome quant à la gestion de ses propres affaires.

Lors de l'Assemblée Générale de l'ICSU à Copenhague en 1949 on étudia plusieurs amendements aux Statuts, et l'Assemblée Générale d'Amsterdam adopta en 1952 les Statuts dans leur forme actuelle. Le premier Article énonce comme suit les buts de l'ICSU:

(*a*) coordonner et faciliter l'action des Unions scientifiques internationales dans le domaine des Sciences exactes et naturelles;

(*b*) servir de centre de coordination des organisations nationales adhérant au Conseil.

Le Conseil a en outre pour but:

(*a*) d'encourager l'activité scientifique internationale dans les domaines où il n'existe pas d'organisations internationales compétentes;

(*b*) d'entrer, par l'intermédiaire des organisations nationales adhérentes, en relation avec les Gouvernements des pays adhérant au Conseil, en vue de développer la recherche scientifique dans ces pays;

(*c*) de se tenir en contact avec les Nations Unies et leurs Institutions spécialisées;

(*d*) d'établir les rapports et de conclure les arrangements jugés nécessaires avec d'autres Unions ou Conseils internationaux lorsque leur champ d'action recouvre, dans le domaine des Sciences exactes et naturelles, celui du Conseil.

Les Membres du Conseil se partagent en deux catégories: les membres nationaux et les membres scientifiques. Les membres nationaux représentent soit une organisation Nationale: principale académie scientifique, conseil national de recherches ou tout autre institution, ou groupement d'institutions; soit, à défaut, leur Gouvernement. Les membres scientifiques sont les Unions, dont l'admission a été prononcée par l'Assemblée Générale; il y en a actuellement treize. Les Unions Internationales de Cristallographie et de Mécanique Théorique et Appliquée obtinrent leurs sièges en 1947. Puis ce fut le tour de l'Union Mathématique Internationale (1952), et des Unions des Sciences Biologiques et de la Biochimie (1955) et de l'Histoire et la Philosophie de la Science (1956).

L'autorité dirigeante de l'ICSU est l'Assemblée Générale qui se réunit normalement tous les trois ans, le Bureau et le Comité Exécutif. Les deux derniers organismes relèvent de l'Assemblée Générale. Celle-ci comprend les membres nationaux et les membres scientifiques et procède à l'élection du Bureau. C'est celui-ci qui est normalement chargé de l'administration; il se réunit au moins une fois l'an. Le Comité Exécutif se compose des membres du Bureau et de représentants des membres scientifiques; il se réunit habituellement une fois par an.

Cette double structure, nationale et scientifique, de l'ICSU, qui résulte d'une longue expérience acquise dans l'organisation de la coopération scientifique, présente un intérêt spécial. L'ICSU est une fédération internationale d'Unions Scientifiques, complètement autonomes en ce qui concerne leur gestion intérieure, et pouvant s'adjoindre des membres nationaux, que ceux-ci soient ou non des membres de l'ICSU. Les membres nationaux de l'ICSU, dont le nombre s'élève actuellement à 45, contribuent à déterminer la politique générale du Conseil par l'entremise de leurs représentants aux Assemblées Générales, et sont en contact direct avec les Unions par l'intermédiaire des Comités Nationaux, chaque Union ayant un Comité National dans chacun de ses pays membres. Un Comité National peut émaner de l'Académie Nationale ou du Conseil de la Recherche qui, lui, fait partie de l'ICSU, comme la *Royal Society* en Grande-Bretagne et l'Académie Nationale des Sciences aux Etats-Unis. Un Comité National peut encore émaner d'un organisme scientifique spécialisé: par exemple dans l'Union astronomique Internationale, le Comité National allemand émane de l'*Astronomische Gesellschaft.*

L'Unesco, créé en 1946, est un organisme spécialisé des Nations Unies; ses membres étant des Etats, il est gouvernemental, par opposition à l'ICSU qui est non-gouvernemental. Ces deux organismes se chevauchent quelque peu dans le domaine des sciences naturelles. Ceci a donné lieu à un Accord, intervenu entre eux en 1946, et renouvelable annuellement. L'Unesco reconnaît que les Unions sont les intermédiaires appropriés de toute collaboration scientifique internationale, que l'ICSU est l'organisme approprié pour représenter les Unions et coordonner leurs activités, et que les objectifs de l'ICSU s'harmonisent avec ceux de l'Unesco. Une large tranche du programme des travaux de l'Unesco entre dans le cadre de l'ICSU, de sorte que celui-ci est en mesure de contribuer puissamment à la réalisation des buts et du programme de l'Unesco.

En vertu de l'Accord, l'ICSU reçoit de l'Unesco un subside annuel pour lui permettre de coordonner les activités de ses membres et de contribuer au financement de projets scientifiques internationaux qui cadrent avec les objectifs de l'Unesco. Celui-ci est représenté aux réunions du Comité Exécutif et à l'Assemblée Générale de l'ICSU, qui à son tour fournit à l'Unesco sur demande des avis et des conseils spécialisés. Un comité restreint de l'ICSU institué à cet effet fait tous les ans une répartition provisoire du subside de l'Unesco; chaque Union en est informée et il lui est loisible de suggérer une augmentation, ou autre modification, des subventions proposées. La répartition des subsides est ensuite soumise pour examen au Bureau de l'ICSU puis au Comité Exécutif pour être adopté après approbation ou modification.

Deux ou plusieurs Unions peuvent s'intéresser au même domaine. Dans ce cas, une commission mixte est instituée, s'il y a lieu, par les Unions en cause. Il y a en ce moment cinq de ces commissions mixtes: sur l'Ionosphère, la Radio-météorologie, les relations Terre-Soleil, la Spectroscopie et la Radioactivité appliquée. La Commission Mixte de l'Ionosphère réunit des représentants des Unions Radio-scientifique, Astronomique, Géodésique et Géophysique, et de Physique pure et appliquée. Celle de Radio-météorologie se compose de délégués des Unions Radio-scientifique, Géodésique et Géophysique, et de Physique pure et appliquée. La Commission Mixte sur les Relations Terre-Soleil réunit des représentants des Unions Astronomique, Radio-scientifique, et Géodésique et Géophysique. La Commission Mixte de Spectroscopie se compose de délégués des Unions Astronomique et de Physique pure et appliquée; celle de la Radioactivité se compose de délégués des Unions de Chimie, de Physique, des Sciences biologiques, de Biochimie et de Physiologie, et de l'Union Géodésique et Géophysique. Il convient de rappeler que c'est lors de la réunion de la Commission Mixte de l'Ionosphère tenue à Bruxelles en 1950 que la question d'une troisième Année Polaire Internationale englobant les régions non-polaires fut soulevée pour la première fois.

Une autre tâche de l'ICSU est d'instituer des Comités Spéciaux chargés d'organiser des programmes de recherches nécessitant la collaboration internationale. Il existe actuellement trois de ces Comités Spéciaux: celui de l'Année Géophysique Internationale 1957–58 (CSAGI), celui des Recherches Océaniques, et celui des Recherches Antarctiques, créés en 1953, 1957 et 1958 respectivement.

Il vaut la peine de rappeler comment a été organisée l'AGI. Tout d'abord, le Comité Spécial établit les grandes lignes des questions d'intérêt mondial dont la solution exigeait que des observations soient effectuées dans toutes les parties du monde, chacun des domaines en cause étant confié à un Groupe de Travail. Les membres nationaux de l'ICSU ainsi que certains pays non-membres furent invités à constituer chacun des Comités Nationaux pour décider de l'importance de leur contribution respective aux travaux en perspective. C'est à partir des Rapports nationaux et des conférences, des négociations et des propositions qui en résultèrent, que s'élabora le programme mondial d'observations géophysiques simultanées de l'année 1957–58. Un Comité Consultatif de l'AGI composé de délégués de chaque pays participant siégea en même temps que le Comité Spécial.

L'AGI fut en définitive la plus vaste entreprise de coopération scientifique internationale qui ait jamais été conçue. Soixante-sept pays y participèrent, et il y eut plus de 2 000 stations d'observation réparties sur toute la surface du globe. Un trait spécial de l'AGI a été l'emploi fréquent de fusées pour explorer les régions supérieures de l'atmosphère inaccessibles aux ballons expérimentaux pourvus d'instruments. On a réussi en outre le lancement de satellites terrestres porteurs d'instruments scientifiques. Cette dernière initiative revient à la Commission Conjointe de l'Ionosphère avec l'appui du CSAGI.

On a prévu la mise en dépôt dans trois Centres Mondiaux de Données de la somme énorme de données résultant des dix-huit mois d'observations. Là elles sont à la disposition des savants qui veulent s'en servir.

Le programme de l'AGI comporte également de sensationnelles recherches dans l'Antarctique, ce vaste continent presque inconnu, qui présente toutefois un grand intérêt au point de vue géophysique. Douze pays ont mis en service 57 stations dans l'Antarctique au cours de l'AGI. Or, tout le monde pensait que les recherches dans l'Antarctique ne devraient pas prendre fin avec l'AGI; c'est pourquoi l'ICSU a mis sur pied un Comité Spécial de Recherches dans l'Antarctique avec mandat de poursuivre ces recherches au-delà du terme de l'AGI, à une échelle réduite évidemment.

Le programme des observations de l'AGI prit fin le 31 décembre 1958 et cela donna lieu à deux autres décisions de la part de l'ICSU. Etant donné, tout d'abord, que le sentiment général penchait en faveur d'une continuation, après

l'AGI, des observations et du rassemblement des données géophysiques et apparentées, on décida que ces travaux se poursuivraient en 1959 dans les domaines et à la cadence que fixerait chaque Comité National. Cette extension donnée à l'AGI s'appelle la Coopération Géophysique Internationale (1959). Il s'agit, en deuxième lieu, de l'exploitation et du dépouillement des données recueillies pendant l'AGI: un Comité Spécial de l'ICSU a été institué pour organiser et réaliser un programme spécial de recherches. Le Comité cessera d'exister aussitôt que les recherches prévues à ce programme auront été accomplies. Les Unions, en tant que Membres de l'ICSU se chargeront du dépouillement des éléments d'observation ayant une valeur scientifique. Les travaux du Comité Spécial de l'AGI devant être achevés au 1er juillet 1959, l'ICSU a nommé un Comité Spécial mixte de Géophysique qui sera chargé de s'occuper de la phase de clôture de l'AGI, et de la Coopération Géophysique Internationale (1959), dans tous leurs aspects: publications, finances, organisation de la coopération internationale pour l'exploitation et le dépouillement des données de l'AGI par le Centre Mondial des Données, les Unions scientifiques internationales, l'Organisation Météorologique Mondiale, ou autres organismes.

La deuxième entreprise organisée sous l'égide de l'ICSU concerne les Sciences de la Mer. Les océans couvrent les sept-dixièmes de la surface du globe et les nombreux problèmes qui s'y rapportent ne peuvent être résolus que par coopération internationale. C'est pourquoi en 1957 l'ICSU a institué le Comité Spécial de la recherche Océanique, lui donnant pour mission de dresser un programme de travaux. Les pays participants mettront sur pied des Comités Nationaux qui détermineront l'apport de chacun. Le Comité a déjà établi les grandes lignes du programme dont la première partie se composera d'une étude de l'Océan Indien au cours d'un cycle complet de mousson en 1962–63. C'est le moins connu des océans, et, en même temps le plus approprié pour les recherches dans certains domaines, en raison de ses deux moussons. On espère qu'au cours de la période 1962–63 au moins une vingtaine de navires océanographiques opéreront dans l'Océan Indien. Les résultats obtenus dans ce secteur faciliteront sans doute les travaux ultérieurs dans d'autres océans.

Les lancements de satellites porteurs d'instruments effectués au cours de l'AGI ont marqué une ère nouvelle dans l'exploration de l'espace. Maintenant que l'AGI a pris fin la question est de savoir si la collaboration internationale dans ce domaine se poursuivra sous les auspices de l'ICSU. Les membres scientifiques et nationaux, pressentis, se sont prononcés en faveur de la création par l'ICSU d'un Comité de l'Exploration de l'Espace. L'ICSU a en conséquence institué le comité en question, dont le mandat prendra fin en décembre 1959, et dont la tâche primordiale sera d'aider à la réalisation de projets d'exploration spatiale s'inspirant du principe de la libre activité scientifique internationale. Il fera connaître à l'ICSU quelles sont les mesures à prendre pour qu'à l'avenir tous les autres pays du monde puissent participer à des programmes internationaux de recherches spéciales aux côtés de ceux qui ont déjà mis en train des programmes de recherches comportant l'utilisation de satellites artificiels et de sondes. Le Comité a mission de se tenir au courant des activités des Nations Unies et des autres organisations internationales dans ce domaine pour en assurer l'avantage maximum aux explorations scientifiques de l'espace entreprises internationalement.

Les lancements de fusées-sondes vers la Lune ont commencé. Quelques savants, envisageant déjà la possibilité de toucher la Lune dans un proche avenir, craignent que de tels «alunissages» soient effectués sans précautions suffisantes pour éviter à notre satellite des contaminations de source terrestre, qui pourraient nuire à certaines expériences futures relatives à la Lune ou aux planètes et susceptibles d'une importance scientifique capitale. Un Membre National évoqua la question au sein de l'ICSU et le Bureau de celui-ci chargea un Comité de la Contamination par exploration extra-terrestre de formuler un règlement d'alunissage destiné à réduire les risques de contamination à un niveau acceptable. Le comité a dans un rapport intéressant recommandé l'élaboration d'un «Code d'exécution» capable de ménager un compromis entre l'ambition naturelle d'amorcer au plus tôt l'exploration lunaire — ou éventuellement planétaire — et la sauvegarde indispensable des recherches futures. Le Comité a été chargé de formuler un tel code et de soumettre ses conclusions au Comité Spécial de l'Exploration de l'Espace.

Il faut signaler également deux autres entreprises de l'ICSU dans le domaine de la collaboration scientifique internationale. A la suite de la Conférence sur les résumés scientifiques tenue à Paris en 1949 sous les auspices de l'Unesco, l'ICSU fonda un Comité Mixte de résumés de

Physique. Ce Comité fut chargé, en septembre 1950, de la tâche, qui naguère incombait à l'Unesco, de coordonner les résumés d'ouvrages de physique. Il devint en 1951 un Comité Spécial de l'ICSU appelé «Bureau des Résumés Analytiques de l'ICSU» (IAB). Il bénéficie de la collaboration des Bulletins de résumés connus qu'il s'est adjoint en qualité de «journaux-membres» et a adopté le principe selon lequel il ne devrait y avoir en chaque langue qu'un seul bulletin de résumés pour chaque discipline. Après avoir organisé efficacement la prompte publication des résumés pour la physique, le Comité se penche actuellement sur le problème de la coordination des services de résumés en ce qui concerne la chimie. A la demande des Services des Bulletins de résumés relatifs à la biologie, il étudie également cet immense domaine en vue de trouver un moyen d'y régulariser la situation actuellement chaotique de la publication des résumés. L'IAB est puissamment aidé dans ses travaux par les correspondants qu'il a dans chaque pays.

Une autre entreprise capitale de l'ICSU a été la création de la Fédération des Services Permanents Astronomiques et Géophysiques (FAGS) dont il approuva les Statuts en 1956. FAGS groupe les divers Services permanents relevant des Unions Internationales Astronomique, Géophysique et Géodésique, et Radio-scientifique, qui auparavant étaient entretenus par les Unions elles-mêmes, parfois avec l'aide des pays; ce sont:

Le Bureau International de l'Heure,
Le Service International des Latitudes,
Le Service Permanent des Indices Géomagnétiques,
Le Bureau International Gravimétrique,
Le «International Seismological Summary»
Le Bulletin mensuel du Bureau Sismologique International,
La Commission Internationale de l'Ozone Atmosphérique,
Le Bulletin trimestriel de l'Activité Solaire, et
Le Service Central des Ursigrammes.[1]

[1] Service d'émissions en code de données ionosphériques, solaires et géomagnétiques, et autres données géophysiques.

L'avenir du Bureau de l'Ozone Atmosphérique est actuellement l'objet d'un échange de vues avec l'Organisation Météorologique Mondiale. Un Service international de création récente est celui du Niveau Moyen de la Mer. L'ICSU a reçu avis d'une motion relative à la création d'une Commission Mixte des Journées Géophysiques Mondiales qui serait chargée de continuer les travaux des Journées Mondiales de l'AGI, notamment de dresser à l'avance la liste des Journées Régulières Mondiales et des Intervalles Météorologiques Mondiaux futurs dans un Calendrier Géophysique Mondial; rédiger un calendrier des «alertes» d'activité solaire et préparer un calendrier *post factum* des indices significatifs et des événements solaires et géophysiques importants.

Lors de sa session tenue à Washington en octobre 1958 l'Assemblée Générale de l'ICSU a approuvé l'établissement d'un Service International Permanent des Journées Mondiales sous l'autorité de FAGS et a délégué ses pouvoirs quant à la formation et le fonctionnement ultérieur de ce service à l'Union Radio-scientifique Internationale.

FAGS a son propre Conseil et bénéficie de subventions de l'UNESCO et de l'ICSU. La répartition de ces subventions s'effectue après examen des besoins des divers services, en tenant compte de l'appui matériel reçu des organisations nationales et autres. L'ICSU a fait ressortir que les Services Permanents ont mission non d'entreprendre eux-mêmes des recherches scientifiques, mais de fournir des données fondamentales pour les nombreuses recherches géophysiques.

Les statuts actuels de l'ICSU lui imposent de lourdes responsabilités, et ses activités ont récemment acquis une ampleur considérable. Son caractère complètement a-politique fait que l'organisation d'entreprises scientifiques sous ses auspices est effectuée par les savants eux-mêmes, par l'intermédiaire des organismes scientifiques de leurs pays respectifs. C'est ainsi que l'ICSU est, au moyen de ses Comités Spéciaux, en mesure d'amorcer des recherches d'envergure internationale qui sans lui, seraient irréalisables.

L'audition chez les cétacés

par F. C. FRASER et P. E. PURVES

On a découvert que les cétacés possédaient une intelligence très développée, mais jusqu'à ces derniers temps leurs organes des sens étaient peu connus. On sait maintenant que leur sens de l'audition est très développé, et qu'il a subi par rapport à celui des mammifères terrestres des modifications propres à l'adapter au fonctionnement dans l'eau. Ces modifications font l'objet de cet article.

Les cétacés sont des mammifères à mode de vie exclusivement aquatique. Ils naissent, se nourrissent, se déplacent et se reproduisent dans l'eau. On ne savait que très peu de choses sur leur comportement avant de pouvoir les garder en captivité pendant des périodes plus ou moins longues. Les observations et expériences poursuivies principalement à Marineland (Floride) ont montré que les dauphins en captivité ont un niveau d'intelligence très élevé: au point de vue de leur comportement émotionnel et des réponses aux stimuli, les dauphins paraissent se placer quelque part entre le degré de développement du chien et celui du chimpanzé [1].

On devrait donc s'attendre à ce que les récepteurs sensoriels à longue portée y soient au moins aussi développés que chez les mammifères terrestres supérieurs. Cependant, si étrange que cela puisse paraître à première vue, les cétacés sont presque, ou entièrement, dépourvus d'odorat. Chez les baleines, il n'existe que des organes olfactifs réduits et, chez les cétacés à dents ils sont absents et même les lobes olfactifs du cerveau sont complètement atrophiés.

Il semble que le sens de la vision soit normalement développé et adapté à fonctionner sous l'eau dans de bonnes conditions de visibilité. Mais il doit exister des conditions de turbidité et de profondeur où les yeux ne peuvent fonctionner. Le premier de ces facteurs doit jouer particulièrement chez les dauphins fluviaux primitifs et il est significatif que leurs yeux soient très réduits en taille et en fonction.

Des expériences ont montré que chez les cétacés le sens de l'audition est le plus sensible de tous les récepteurs. Le manque d'oreilles externes visibles et la petitesse extrême du méat auditif externe ont amené beaucoup d'anatomistes à penser qu'il doit exister quelque méthode d'audition différente de celle utilisée par les mammifères terrestres. Une des raisons de penser ainsi est que l'interprétation de l'audition des cétacés a été conditionnée par les facteurs anatomiques et physiques mis en œuvre dans l'audition humaine.

L'oreille humaine (figure 1), comme celle de tous les mammifères terrestres, comporte un mécanisme convertissant les amplitudes de déplacement relativement grandes des ondes aériennes, reçues par le tympan, en mouvements susceptibles d'être détectés par les cellules ciliées de la cochlea. Le contenu de la cochlea est presque entièrement fluide, si bien que ses propriétés acoustiques se rapprochent de celles de l'eau. Les ondes sonores aériennes subissent normalement une très forte perte de transmission en passant dans un tel milieu, et, sans le mécanisme de l'oreille moyenne, il n'y aurait pas de déplacement des cellules ciliées par rapport aux structures avoisinantes et donc pas d'audition.

Les figures 1 et 2*a* montrent schématiquement le mécanisme réalisé. L'effet des leviers osseux ajouté à celui de la différence de surface entre le tympan et l'étrier multiplie par 60 la pression à la fenêtre ovale[1], ce qui correspond à un accroissement de 60 fois pour l'amplitude des variations de pression d'onde sonore dans l'eau par rapport à celle d'une onde sonore de même fréquence et intensité dans l'air.

Les travaux anatomiques [2] ont montré que l'oreille des cétacés conserve les éléments essentiels de celle des mammifères, modifiés en fonction des conditions physiques différentes entraînées par le mode de vie aquatique. La cochlea, mise à part sa capacité à répondre aux fréquences ultrasoniques, est semblable à celle des animaux terrestres et c'est dans le mécanisme de l'oreille moyenne que l'on trouve les modifications nécessitées

[1] Ce rapport n'est pas accepté par tous les anatomistes, mais en considérant les propriétés physiques de la conduction du son dans l'eau, on peut considérer les chiffres cités comme les plus exacts. Les conséquences au point de vue de l'évolution sont d'une extrême importance.

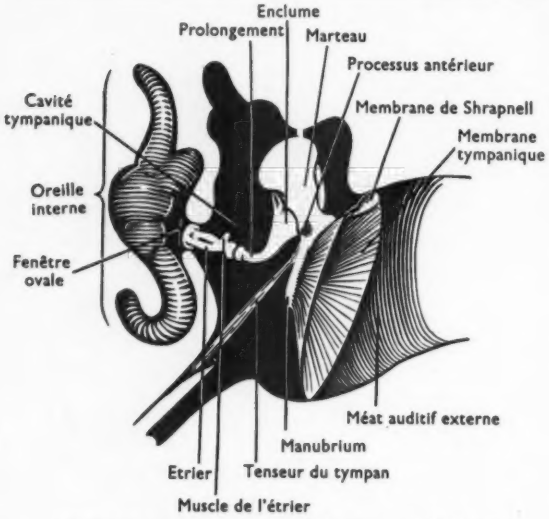

FIGURE 1 – *Schéma de l'oreille moyenne de l'homme.*

par le fait que les ondes sonores atteignent l'oreille du cétacé par l'intermédiaire de l'eau. Le mécanisme doit ici produire un accroissement de l'amplitude de déplacement de la vibration tandis que les surfaces relatives des structures doivent être telles que l'amplitude des différences de pression soit maintenue au même niveau que dans l'eau avoisinante.

La figure 5 montre une dissection de la région squamo-mastoïde de la tête d'un rorqual. En partant de la droite on peut voir la petite ouverture du méat pénétrant dans la graisse. L'ouverture a environ le diamètre d'un crayon et elle est tapissée d'un épithélium noir continu avec celui de la peau externe. Les cartilages de l'oreille externe et les muscles annexes sont présents et apparemment fonctionnels bien que situés sous la graisse. Le méat est réduit sur une longueur d'environ 15 cm à un cordon tendu situé dans une gouttière du mastoïde. Plus loin vers le tympan le cordon formé par le chorion du méat s'élargit en un tube rempli par une masse dense d'épithélium corné, appelé bouchon de l'oreille. Au voisinage du tympan ce bouchon revêt une structure en doigt de gant, homologue en anatomie humaine de la membrane de Shrapnell (figure 1). Chez les cétacés à dents, à l'exception possible du cachalot, le méat externe est ouvert sur toute sa longueur, mais il est beaucoup plus étroit et visible sur un échantillon disséqué sous la forme d'un mince tube pigmenté de noir, n'ayant pas plus d'un millimètre de diamètre. Dans la dissection que montre la planche, on a retiré la moitié de la massive bulle tympanique pour montrer la cavité de l'oreille moyenne avec les sinus aériens qui y sont associés. La figure 3 montre l'oreille moyenne et la cochlea (C) d'un rorqual; on les décrira par comparaison avec le schéma de l'oreille humaine de la figure 1. Dans l'oreille disséquée du cétacé on a sectionné la bulle tympanique qui forme le plancher du tympan, pour mettre à nu les osselets (M, ST), les muscles et les autres structures de l'oreille. La membrane tympanique de l'oreille humaine est circulaire, légèrement concave au centre, reliée par son bord à l'anneau tympanique et vers l'intérieur au manche du marteau. L'axe de vibration de la membrane est à angle droit de l'axe du manubrium du marteau (voir la figure 2*a*). La membrane de Shrapnell (GL) chez le cétacé est devenue très grande, pour former le doigt de gant. La membrane tympanique étendue et pliée comme une ombrelle fermée (voir aussi figure 2*b*) forme ce que l'on appellera par la suite le ligament tympanique (TL). En même temps

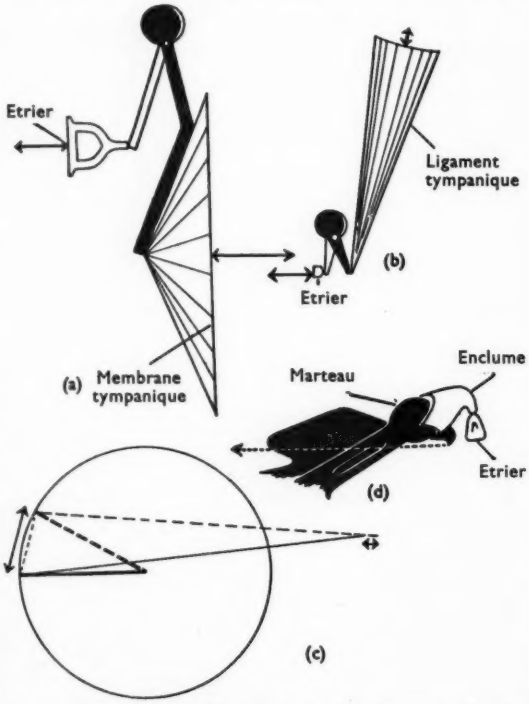

FIGURE 2 – *Schéma du mode de fonctionnement de la membrane tympanique et des osselets chez l'homme et le cétacé. (a) Tympan et osselets humains. (b) Tympan (ligament tympanique) et osselets d'un cétacé. (c) Action de manivelle du ligament tympanique du cétacé. (d) Articulation angulaire du marteau et de l'enclume. Le pointillé montre la direction de la traction du ligament tympanique. (Avec l'autorisation de l'administration du* British Museum.)

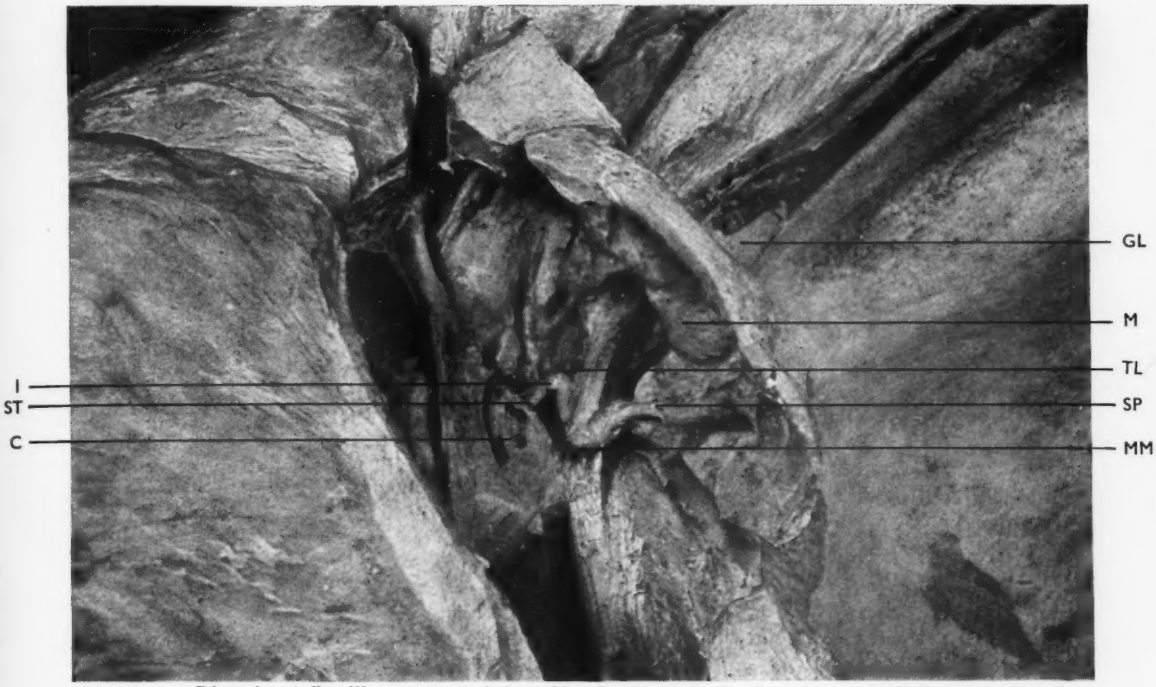

FIGURE 3 – *Dissection de l'oreille moyenne et de la cochlea d'un rorqual. La dissection montre le ligament tympanique (TL) attaché au manubrium (MM) du marteau, qui est relié à la bulle tympanique et au processus sigmoïde (SP) par le processus gracilis. Le muscle tenseur du tympan se trouve à droite et l'artère carotide à gauche de la cochlea (C); l'enclume (I) est visible à gauche du ligament tympanique, et le muscle de l'étrier (ST) se trouve dans un sillon au-dessus de la cochlea. Noter la masse musculaire (M) dont le tendon passe à travers l'anneau tympanique à la face interne de la structure en doigt de gant (Membrane de Shrapnell, GL).*

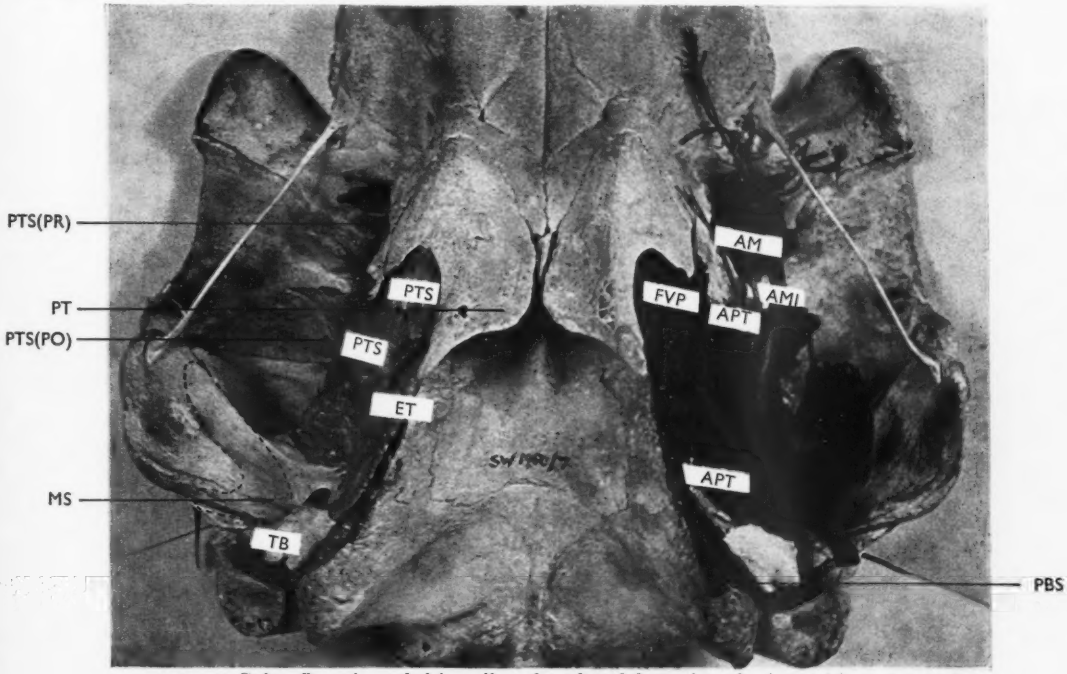

FIGURE 4 – *Crâne d'une jeune baleine pilote dans lequel le système de sinus aériens et son réseau vasculaire ont été injectés avec une résine de polyester.*

AM Artère mandibulaire
AMI Artère maxillaire interne
APT Artère ptérygoïde. Branches artérielles allant au muscle ptérygoïde interne
ET Trompe d'Eustache
FVP Plexus fibro-veineux
MS Sinus moyen
PBS Sinus péribullaire
PT Os ptérygoïde
PTS Sinus ptérygoïde
PTS (PR) Lobe préorbitaire du sinus ptérygoïde
PTS (PO) Lobe postorbitaire du sinus ptérygoïde
TB Bulle tympanique

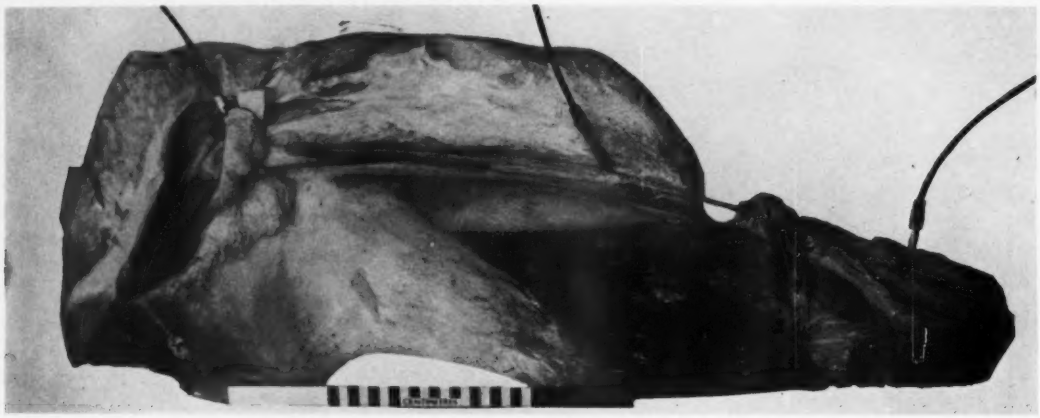

FIGURE 5 – *Dissection de l'oreille externe et moyenne d'un rorqual (vue ventrale). Les sondes utilisées pour mettre en évidence la conductivité des sons sont vues in situ.*

le manubrium du marteau est devenu très court et épais et l'axe de la vibration longitudinale du ligament tympanique se trouve presque parallèle à lui, et non à angle droit comme chez les mammifères terrestres. Le processus antérieur (processus gracilis) du marteau des cétacés est très élargi et en forme de poutrelle creuse. Une jonction osseuse, extrêmement mince le long de son bord latéral, relie le processus gracilis à la bulle tympanique. Le bord du processus antérieur est renforcé par une projection solide de l'anneau tympanique: le processus sigmoïde (SP). Chez les cétacés, le long processus de l'enclume est aussi considérablement raccourci, par rapport à celui de l'homme. D'après la *Human Anatomy* de Gray «le manche du marteau suit tous les mouvements de la membrane tympanique pendant que le marteau et l'enclume tournent ensemble autour d'un axe qui traverse le court prolongement de l'enclume et le ligament antérieur (et donc le processus gracilis) du marteau. Quand la membrane tympanique et le manche du marteau se meuvent vers l'intérieur, le long prolongement de l'enclume se déplace aussi dans la même direction et pousse la base de l'étrier vers le labyrinthe» [3]. Une étude mécanique des osselets montre que cette description est vraie aussi pour les cétacés, avec une différence importante: chez ceux-ci le ligament tympanique est seulement attaché à un point de l'extrémité du manubrium du marteau et fait avec ce dernier un angle aigu dont nous avons déjà parlé. Dans ces conditions, le ligament agit comme la tige d'un piston attachée à une manivelle, de telle sorte que tout petit mouvement de l'extrémité, côté méat, du ligament produit un mouvement relativement important de l'extrémité du manubrium, et donc de l'extrémité du long prolongement de l'enclume (figure 2*c*). Des expériences ont montré que l'amplification dans cette région est de 30 fois alors que dans l'oreille humaine il existe une réduction d'environ deux fois.

Pour que l'amplification se produise, il faut que le mouvement efficace du marteau soit seulement un mouvement de rotation, et ceci est réalisé grâce à la forme en poutrelle creuse du processus gracilis et par son mode de fusion avec l'anneau tympanique. Le soutien du processus sigmoïde empêche le mouvement latéral du marteau de se produire et le processus gracilis est seulement capable d'une vibration de torsion. L'articulation angulaire du marteau avec l'enclume (figure 2*d*) fournit la condition nécessaire à ce que la transmission oscillatoire ne soit efficace que pour les mouvements de rotation. Les surfaces lisses des facettes tendent à glisser les unes sur les autres dans une direction ou dans les deux quand l'oscillation est longitudinale ou transversale pour le processus gracilis. Ce facteur est d'une grande importance pour exclure les vibrations autres que celles du ligament tympanique. L'amplification décrite ci-dessus implique une réduction de 30 fois de la puissance. Pour compenser ceci, le pied de l'étrier présente une surface environ trente fois plus faible que celle de l'extrémité distale du ligament tympanique. Le rapport de la surface du pied de l'étrier à celle de l'extrémité distale du ligament tympanique est ainsi égal au rapport des surfaces entre le pied de l'étrier et le tympan chez l'homme. Alors que chez l'homme l'accroissement de pression à l'étrier compense la perte de puissance due au milieu gazeux, chez les cétacés

elle compense la perte de puissance due à l'amplitude du déplacement produite par le rôle de levier des osselets.

Pour démontrer la caractéristique d'amplification du marteau des cétacés on a fait l'expérience suivante: on soude une extrémité d'un mince fil d'acier à un transducteur contenant une céramique au titanate de baryum, l'autre étant rattachée à l'extrémité du manubrium du marteau au point d'attache normal du ligament tympanique de manière à remplacer ce dernier en longueur et position (figure 6). On peut changer l'angle d'attache du fil en levant ou en abaissant le transducteur par rapport au manubrium, la tension restant constante grâce à un petit poids suspendu au câble reliant le transducteur à l'oscillateur à fréquence variable. On laisse l'enclume dans sa position habituelle sur le marteau, séparé de lui par une mince couche de vaseline. L'étrier est remplacé par l'aiguille d'un pick-up microsillon et l'on relie ce dernier à un amplificateur et un oscilloscope à rayons cathodiques. Les fréquences utilisées dans cette expérience se situent entre 10 et 100 kc/s. On note des différences considérables dans l'amplification en fonction de l'angle que fait le fil avec l'axe longitudinal du manubrium du marteau. Quand le fil tire à angle aigu, environ 5°, l'amplitude est environ dix fois celle réalisée quand le fil tire à angle droit de l'axe du manubrium. Dans ce dernier cas, l'amplitude atteinte au niveau de l'étrier est à peu près la même que celle du sommet du manubrium et elle croît quand l'angle d'attache du fil diminue, jusqu'à s'approcher de l'infini quand le fil est presque parallèle à l'axe du manubrium.

ADAPTATION À LA PERCEPTION DE LA DIRECTION DES SONS

Des attributs de l'ouie, la perception de la direction est probablement le plus important pour les animaux en général. Chez les mammifères terrestres, à cause de la différence de propriétés physiques entre les tissus du corps et l'air ambiant, la plus grande part de l'énergie sonore frappant la tête est dissipée, seule la fraction recueillie par l'oreille externe étant transmise à la cochlea. La mobilité de la tête et les mouvements des oreilles externes ainsi que leur isolement fournissent des différences d'intensité, de qualité et de phase entre les deux oreilles, constituant autant de facteurs d'orientation du son. Chez les cétacés, à cause de la similitude relativement étroite entre les propriétés acoustiques des tissus du corps et de l'eau

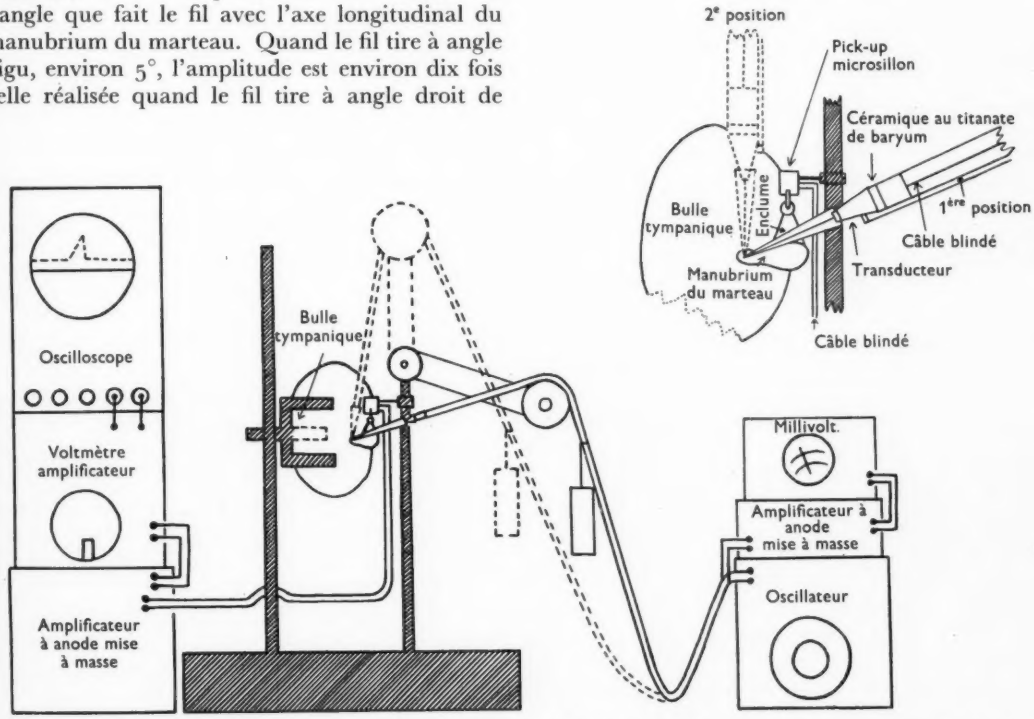

FIGURE 6 – *Appareil utilisé pour montrer les variations d'amplitude des oscillations de torsion du marteau quand on l'actionne au moyen d'un ligament tympanique artificiel vibrant longitudinalement à des fréquences et angles de traction divers. (Avec l'autorisation de l'administration du* British Museum.)

ambiante, presque toute l'énergie du son frappant le corps est transmise. Pour réaliser la séparation des oreilles nécessaire à l'orientation du son, l'isolement acoustique des deux cochleae du reste du corps est essentielle. On croit que les muscles auriculaires, ceux du système de sinus et le système de sinus lui-même interviennent dans l'appréciation des différences d'intensité et de qualité. A cause de la plus grande vitesse du son dans l'eau et de son amortissement réduit, la perception de la direction demande aussi un accroissement de la gamme de sensibilité de l'oreille vers les fréquences élevées et ultrasoniques dont les longueurs d'onde sont petites comparées aux dimensions linéaires de la tête.

Au cours de l'évolution des cétacés à partir de leurs ancêtres terrestres, le tympano-périotique (TB, figure 4) s'est complètement séparé des os voisins du crâne. De plus, les os entourant le périotique se sont creusés d'extensions pneumatiques de la cavité de l'oreille moyenne, si bien qu'il se trouve entouré d'un système de sacs aériens (PBS). En avant du périotique, l'extension de la cavité de l'oreille moyenne a séparé chaque os ptérygoïde en deux lames qui, dans beaucoup d'espèces, se trouvent largement séparées. Ces extensions, dans les espèces les plus évoluées, se sont développées au-delà des ptérygoïdes et ont envahi les régions préorbitaire (PTS (PR)) et postorbitaire (PTS (PO)) de la base du crâne (figure 4). Chez le dauphin commun, elles ont pénétré presque jusqu'à l'extrémité du museau allongé. Chez les dauphins plus primitifs, la totalité ou la presque totalité de la lame osseuse externe persiste, mais par spécialisation la lame osseuse est devenue perforée, fenestrée et a finalement disparu. Au cours du phénomène de la disparition des éléments calcifiés de l'os, les vaisseaux sanguins et le périoste ont persisté et se sont hypertrophiés de telle sorte que les sacs aériens se trouvent enfermés dans un réseau résistant fibro-élastique de vaisseaux sanguins et de périoste. Les sacs sont doublés par une extension de la membrane muqueuse de l'oreille moyenne présentant des glandes abondantes et des conduits muqueux entre lesquels existe une couche d'épithélium cilié. Sous la pression atmosphérique normale, les parois fibroélastiques des veines du plexus vasculaire sont pressées les unes contre les autres, différant en ceci des veines des autres parties du corps, qui sont normalement turgescentes, dans toutes les conditions de pression. L'ensemble du système des espaces aériens est rempli d'une écume extrêmement stable, dont la phase liquide est un mucus finement divisé, émulsion huileuse sécrétée par la membrane muqueuse limitante. Lors de la plongée, l'augmentation de la pression hydrostatique diminue le volume des espaces sinusaires, et l'espace libéré est comblé par un afflux de sang dans les vaisseaux du plexus fibro-veineux (FVP). Ainsi, il se maintient un équilibre entre la pression gazeuse dans la cavité tympanique et la pression hydrostatique externe sur le ligament tympanique. Le même phénomène maintient une enveloppe d'air autour du périotique pour l'isolement acoustique, et autour des osselets et de la fenêtre ronde pour permettre les amplitudes de déplacement précédemment décrites.

L'efficacité d'une telle couche a été mise en évidence expérimentalement. On a comprimé un type analogue d'écume à 100 atmosphères dans une cellule optique. Les bulles avaient considérablement diminué de volume, mais étaient toujours observables après vingt minutes sous cette pression. Ceci prouve qu'à toutes les conditions de pressions susceptibles d'être supportées par le cétacé, un film résiduel d'air persiste dans le système de sinus, fournissant ainsi les conditions idéales pour l'amortissement du son, avec pour conséquence, des différences de qualité, d'intensité et de phase entre les deux oreilles.

Cette description simplifiée du système ne tient compte ni du fonctionnement volontaire des muscles auriculaires, ptérygoïdes et palatins, ni de l'action involontaire des muscles de l'étrier et tenseur du tympan (figure 3), tous importants dans la découverte de la direction du son.

On a soupçonné depuis des années que les cétacés utilisent la localisation par écho, et des travaux récents [4, 5] l'ont établi d'une manière concluante. La méthode de localisation par écho, comporte l'émission et la réception d'une vibration intermittente avec une fréquence variable de répétition, comparable à celle utilisée par les chauves-souris.

BIBLIOGRAPHIE

[1] McBride, A. F. et Kritzler, H. *J. Mammal.*, **32**, 251, 1951.

[2] Fraser, F. C. et Purves, P. E. *Bull. Brit. Mus. (nat. Hist.)*, **2**, 103, 1954.

[3] Johnston, T. B. et Whillis, J. (édité par). «Gray's Anatomy» (29e édition). Londres. 1946.

[4] Schevill, W. E. et Lawrence, B. *Breviora*, No. 53, 1956.

[5] Kellogg, W. N. *Science*, **128**, 982, 1958.

La structure interne de la Terre révélée par les séismes

par I. LEHMANN

L'étude des ondes sismiques résultant des tremblements de terre est utilisée depuis longtemps pour déterminer la structure interne de la Terre, qui échappe complètement à l'observation directe. Les améliorations récentes des instruments enregistreurs et des méthodes d'analyse des résultats obtenus ont considérablement augmenté nos connaissances dans ce domaine, bien qu'il reste encore beaucoup à faire et que certaines découvertes demeurent controversées. L'analyse des ondes provoquées par les explosions atomiques offre de nouvelles possibilités de progrès qui ont été récemment exploitées.

La partie interne profonde de la Terre est inaccessible et aucun rayon de lumière n'y pénètre pour nous laisser observer ce qui se trouve sous la surface. Mais des rayons d'une autre sorte y pénètrent et ramènent avec eux les messages venant de l'intérieur. On a découvert que la Terre possédait des propriétés élastiques permettant au mouvement créé à la source (foyer) d'un séisme de rayonner à l'intérieur et de se propager à la surface. Lors d'un violent tremblement de terre, la masse entière de la Terre se met à vibrer. A une certaine distance du foyer, suivant l'intensité de la secousse, ce mouvement n'est plus perceptible, mais des sismographes très sensibles peuvent enregistrer les ondes émergeant à la surface. Leur enregistrement fournit des données grâce auxquelles la connaissance de l'intérieur de la Terre peut être améliorée. Les études sismiques nous ont appris que la Terre est formée d'un noyau entouré d'une enveloppe sur laquelle se trouve la croûte; à l'intérieur du noyau se trouve un petit noyau interne (figure 1). Vers la fin du XIXe siècle, on s'est rendu compte que les mouvements des tremblements de terre peuvent être ressentis à de grandes distances du foyer. L'enregistrement systématique des séismes commença alors, et les très importants résultats acquis dès le début stimulèrent grandement l'intérêt porté à cette nouvelle science.

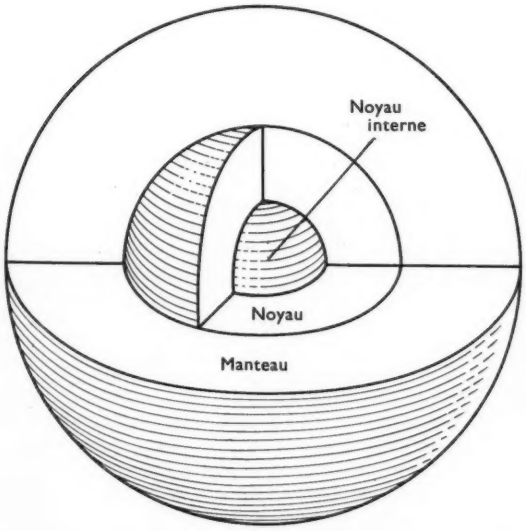

FIGURE 1 – *Montrant le manteau, le noyau et le noyau interne de la terre.*

Les ondes élastiques qui rayonnent à l'intérieur de la Terre sont de deux sortes, et possèdent des vitesses de propagation différentes: les ondes P (*undae primae*) dans lesquelles le mouvement des particules est longitudinal, et les ondes S (*undae secondae*) dans lesquelles ce mouvement est transversal. La vitesse des ondes S est approximativement 60% de la vitesse des ondes P. Les arrivées des ondes sont indiquées sur les sismogrammes par des groupes d'oscillations et, à des distances moyennes du foyer, elles se distinguent en général très clairement. Le sismogramme de la figure 2 a été obtenu à une distance de 18,6° du foyer.[1] P et S y sont indiquées. Les fortes oscillations qui succèdent à S sont dues à des ondes superficielles.

En mesurant les heures d'arrivée des ondes, ce qui peut être réalisé aujourd'hui avec une précision d'environ 1 seconde, on peut calculer la durée du trajet des ondes du foyer à la station d'enregistrement, si l'on peut connaître l'emplacement du foyer et l'heure où s'est produit le tremblement de terre. Quand un nombre suffisant de

[1] En sismologie les distances sont exprimées en distances angulaires rapportées au centre de la Terre considérée approximativement comme une sphère.

durées de parcours sur des distances variables à partir de foyers situés approximativement à la même profondeur (la profondeur normale est d'environ 10 à 20 km) a pu être recueilli, on peut établir des barêmes temps/distance donnant les durées de parcours pour chaque type d'onde sur des distances diverses. On les présente généralement sous forme de courbes de temps.

Les premières tentatives faites pour établir une courbe de temps révélèrent que la vitesse moyenne, évaluée suivant la corde, croît avec la distance du foyer, ce qui indique que la vitesse des ondes croît avec la profondeur. En conséquence, les rayons, c'est-à-dire les normales aux plans d'onde, sont courbes, leur concavité étant tournée du côté de la surface. Pour une distance du foyer d'environ 100°, P et S deviennent faibles et à des distances plus grandes ne peuvent plus être détectées. Les phases P réapparaissent nettement à environ 140°, mais elles ont été retardées, de sorte que leurs durées de parcours ne coïncident plus avec la courbe de temps établie pour de plus courtes distances. Cette observation fut faite en 1906 par R. D. Oldham qui en conclut que dans les profondeurs de la Terre se produisait une diminution de vitesse obligeant les rayons à s'infléchir vers le bas, évitant ainsi une partie de la surface de la Terre. Il essaya de calculer la profondeur à laquelle se produisait cette diminution de vitesse, mais ses observations n'étaient pas assez précises et, en conséquence, ses résultats furent fortement entachés d'erreur. A Gœttingue, E. Wiechert aboutit également à la conclusion que la Terre possède un noyau dans lequel la vitesse est plus réduite que dans l'enveloppe qui l'entoure. Ceci fut établi indiscutablement par B. Gutenberg à partir d'enregistrements de tremblements de terre éloignés obtenus sur les sismographes Wiechert à Gœttingue et fut, avec le calcul du rayon du noyau sa grande réalisation. Le résultat qu'il obtint ne diffère guère des résultats calculés plus tard d'après des données plus modernes et plus nombreuses.

Gutenberg se servit des courbes de temps établies par Wiechert et Zöppritz pour P et S jusqu'à 103° environ, et des vitesses qui en dérivaient. A cette époque, on avait établi des formules au moyen desquelles les durées de transmission à différentes distances pouvaient être calculées lorsque la vitesse en fonction de la distance au centre de la Terre était connue, et l'on pouvait obtenir des formules concernant les vitesses des ondes en fonction de la profondeur, la courbe des temps étant connue. Les rayons atteignant la surface à la distance où la courbe des P s'interrompait effleureraient le noyau.

Les ondes P retardées, observées un peu au-delà de 140°, étaient passées à travers le noyau, où leur vitesse ne pouvait être déduite des formules utilisées pour l'enveloppe, car celles-ci ne peuvent servir dans le cas d'une diminution discontinue de vitesse, comme aux limites du noyau. Cependant, en supposant une répartition de la vitesse dans le noyau, les durées de parcours pouvaient être calculées; Gutenberg fit varier ses hypothèses jusqu'à ce que les durées de parcours calculées coïncident avec celles observées. Ainsi, la vitesse en fonction du temps était connue en première approximation pour l'ensemble de la Terre.

Sur le terrain théorique, on pouvait s'attendre à ce que les ondes soient réfléchies en atteignant la surface de la Terre, et à ce qu'elles soient réfléchies et réfractées par les surfaces de discontinuité internes, telles que la limite du noyau, en partie comme onde de même espèce, et en partie transformées en ondes de l'autre espèce (P en S et vice-versa). Ainsi, à de grandes distances de l'épicentre arrivent des ondes qui ont suivi différents trajets, produisant des oscillations sur un sismogramme et indiquant des phases plus ou moins importantes selon l'énergie qu'elles transportent. Quand la répartition des vitesses à l'intérieur de la Terre est connue, il est possible de calculer les durées de parcours le long des différentes trajectoires.

Lorsque l'on examine les enregistrements d'un tremblement de terre, une grande partie des phases prévues peut être identifiée, mais certaines autres ne s'y trouvent pas, ce sont celles qui ont traversé le noyau comme ondes S. Etant donné que certaines phases peuvent être inscrites sans grande précision, il a fallu longtemps avant de conclure définitivement à l'impossibilité de la transmission des ondes transverses à travers le noyau. A la surface de la Terre, un fluide ne transmet pas les ondes transverses, et pour cette raison nous disons que le noyau est fluide, quoique sous d'autres rapports, il puisse ne pas ressembler aux fluides que nous connaissons.

La zone d'ombre pour la phase P s'étend à une distance de l'épicentre qui va de 105° à 143° environ. Avec des instruments modernes extrêmement sensibles, on constate que la phase P n'est pas complètement absente de cette zone, car dans les violents séismes, elle est en général faiblement enregistrée. La présence des ondes P dans la zone d'ombre peut être due soit à la diffraction à la limite du noyau, soit à la diffusion des rayons

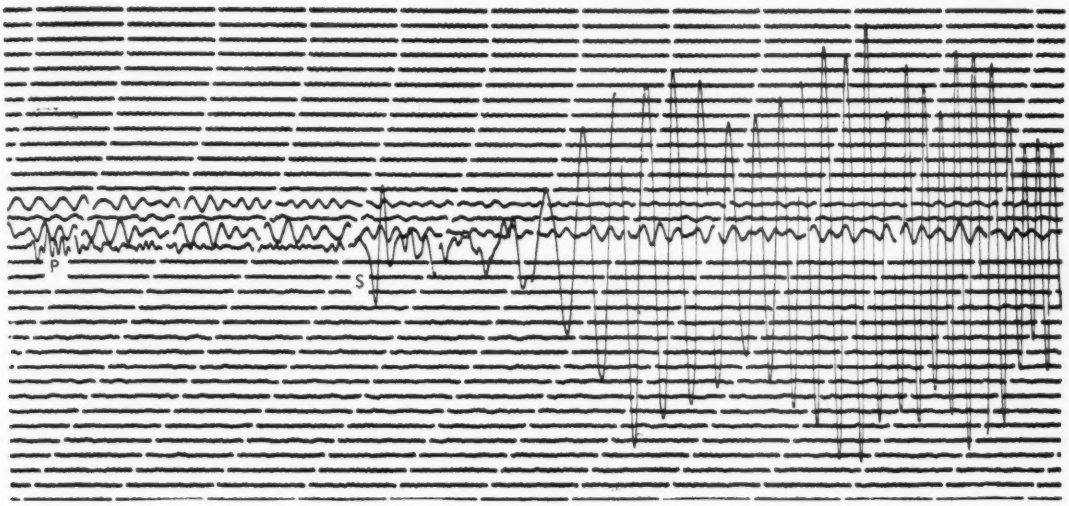

FIGURE 2 – *Le séisme du 23 juillet 1929 enregistré à Copenhague à une distance de 18,6° de l'épicentre.*

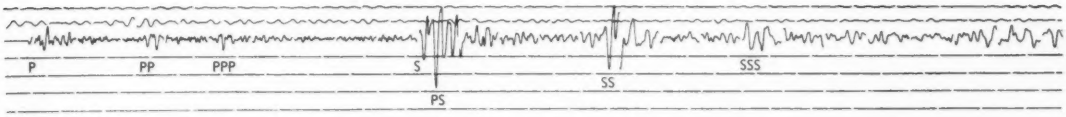

FIGURE 3 – *Le séisme du 30 juin 1936 à l'est du Kamchatka enregistré à Copenhague à une distance de 70,1° de l'épicentre.*

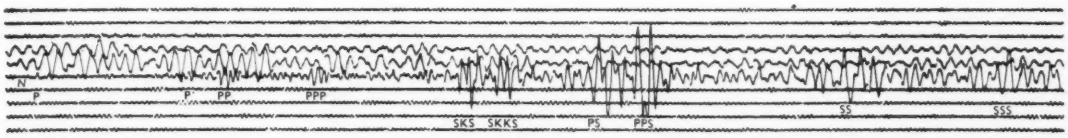

FIGURE 4 – *Le séisme du 1er mars 1948 sur la côte occidentale de Nouvelle-Guinée, enregistré à Scoresby-Sund à une distance de 108° de l'épicentre.*

causée par une légère diminution graduelle de la vitesse juste à l'extérieur du noyau.

En plus de cette phase P faible, il y a dans la zone d'ombre une autre phase P peu apparente aux plus courtes distances. Sur la maquette de la Terre de Gutenberg, sa présence ne pouvait pas être expliquée et on l'attribuait vaguement à la diffraction. Cependant, avec l'amélioration des sismographes, elle était de plus en plus clairement enregistrée, et une explication devenait indispensable. En 1936, l'auteur signala que la présence d'un petit noyau intérieur dans lequel la vitesse de P serait plus grande qu'à l'extérieur, expliquerait entièrement la présence de la phase, car cela obligerait les rayons incidents à s'infléchir vers le haut assez fortement pour que certains d'entre eux émergent dans la zone d'ombre. Gutenberg et Richter acceptèrent l'existence de ce noyau interne et calculèrent son rayon ainsi que la vitesse des ondes qui le traversent. Plus tard, H. Jeffreys prouva que la diffraction ne pouvait expliquer la phase en question.

La figure 3 montre une partie d'un sismogramme enregistré à 70,1° de l'épicentre. PP, SS et PPP, SSS sont des phases dues respectivement à des ondes réfléchies une ou deux fois à la surface de la Terre. PS part d'abord comme onde P, puis est réfléchie comme onde S.

La figure 4 montre une partie d'un sismogramme enregistré à 108° de l'épicentre. P′ est l'onde P réfléchie à la limite du noyau interne. SKS part comme onde S, se transforme en onde P pendant la traversée du noyau et reparaît en onde S après avoir quitté le noyau. SKKS est également une onde S à l'extérieur du noyau et une onde P à l'intérieur, mais elle est réfléchie lorsque, venant de l'intérieur, elle rencontre la limite du noyau. La figure 5 montre la trajectoire de certains rayons

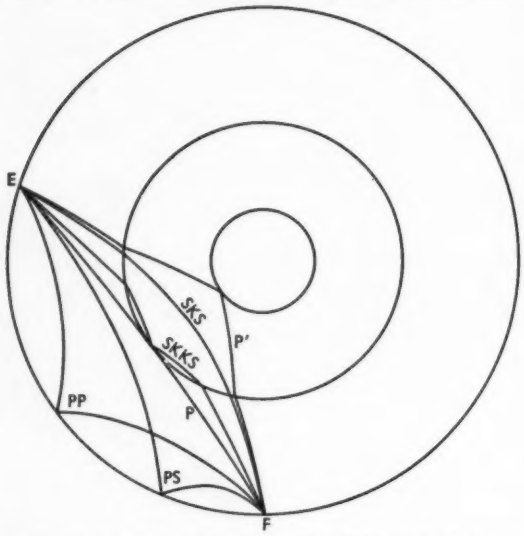

FIGURE 5 – *Rayons du foyer F à l'épicentre E à une distance de* 108°.

correspondant à quelques-unes des phases de la figure 4. Sur la figure 6 sont indiquées les courbes de temps des phases déjà mentionnées et de quelques autres; PKP représente la même phase que P'. Un grand nombre d'autres phases y sont représentées, spécialement à de grandes distances de l'épicentre.

Le fait que l'enveloppe soit recouverte par une écorce nettement différente a été démontré par A. Mohorovičić en 1909; la limite qui sépare l'enveloppe de l'écorce est appelée «discontinuité de Mohorovičić». La vitesse des ondes dans l'écorce est plus petite que dans l'enveloppe, et par conséquent, les ondes traversant l'écorce sont réfractées et s'infléchissent vers le haut lorsqu'elles rencontrent l'enveloppe. Il y aura donc toute une zone dans laquelle à la fois les ondes réfractées et les ondes directes émergeront, ainsi qu'il est indiqué sur la figure 7; à une certaine distance, l'onde réfractée dépasse l'onde directe, car elle se propage plus vite dans la couche inférieure. Mais sa trajectoire est plus longue et elle perd de l'énergie en se réfractant, et par conséquent, la phase correspondante sera, sur le sismogramme, une petite phase P, suivie par une autre phase P plus importante, due à l'onde directe. Ce fait fut observé par Mohorovičić qui en donna une interprétation correcte. Il s'intéressa à la recherche de la profondeur de la discontinuité, mais il n'avait pas les moyens de la déterminer avec précision. En fait, on a constaté qu'il est très difficile d'aboutir à un résultat valable, bien que différentes méthodes aient été employées. Les meilleurs résultats ont été obtenus grâce à des explosions, qui peuvent être considérées comme des séismes artificiels. On peut connaître avec précision l'heure et le lieu auxquels elles se produisent; lorsqu'elles sont bien enregistrées à des distances appropriées, elles fournissent des données plus utiles que les tremblements de terre. Il semble que l'on puisse attribuer à cette discontinuité une profondeur de 30 à 40 km au-dessous des zones les plus continentales. Sous les grands fonds des océans, elle se trouve à une profondeur moindre, à environ 10 à 15 km de la surface des eaux.

Alors que la preuve de l'existence de la discontinuité de Mohorovičić et des autres subdivisions de la Terre est bien établie, la détermination de leurs profondeurs est beaucoup plus difficile. Elle dépend de la détermination très précise des variations de la vitesse à l'intérieur de la Terre, et celle-ci dépend à son tour de la détermination exacte des durées de parcours des ondes directes P et S, et de certaines ondes réfléchies et réfractées. Des travaux très importants ont été effectués dans ce sens, principalement dans les années 1930. Au cours de ces recherches, on a

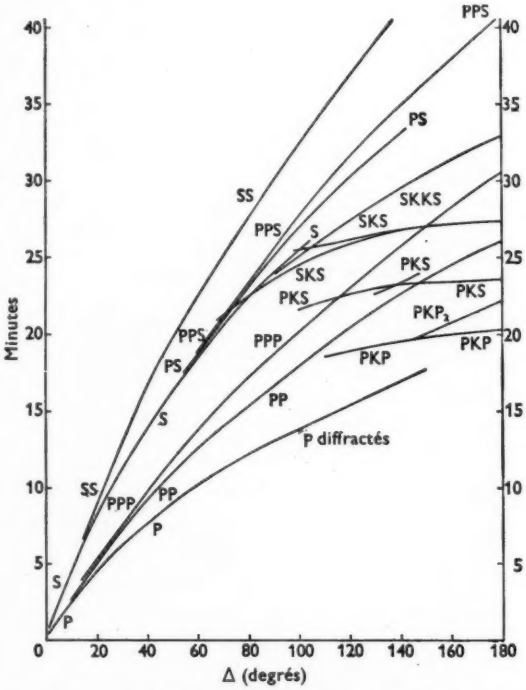

FIGURE 6 – *Temps de propagation à partir d'un foyer superficiel* (*Jeffreys-Bullen*, 1940).

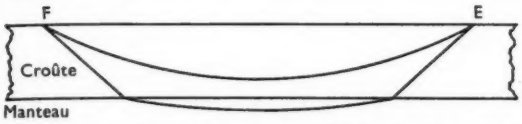

FIGURE 7 – *Rayons directs et réfractés du foyer F à l'épicentre E.*

constaté que l'on devait également tenir compte de certaines subdivisions de l'enveloppe, mais sans pouvoir préciser leur nature, ni leur localisation.

C'est une opération longue et difficile que d'établir des tables temps/distances ou courbes de temps valables. Pour obtenir des durées de parcours précises, nous devons connaître avec exactitude le foyer du séisme et l'heure où il s'est produit. En règle générale, ceci ne peut être calculé directement, car les observations à proximité de l'épicentre ne sont pas assez nombreuses. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser les courbes de temps déjà existantes, avec le risque de transférer leurs erreurs sur les nouvelles durées de parcours. Les courbes de temps étant donc établies de cette façon, il est souhaitable de redéterminer les éléments du séisme et de recommencer toute l'opération.

Pour l'établissement des courbes de temps, on utilise d'ordinaire une méthode graphique, en portant les distances en abscisse et les temps en ordonnée, et en traçant une courbe régulière à travers l'amas de points ainsi obtenus. C'est un procédé quelque peu arbitraire, car on risque ainsi d'introduire des changements de pente ou de courbure incorrects. Ceci est grave, car ce sont de telles variations qui indiquent l'existence de changements plus ou moins brusques de la vitesse ou du gradient de la vitesse à l'intérieur de la Terre. De nombreuses courbes de temps ont été établies, d'après lesquelles on a supposé l'existence de diverses discontinuités.

Deux séries de tables temps/distance ou courbes de temps sont maintenant disponibles, et sont de loin préférables à toutes les précédentes. Elles sont dues respectivement à Gutenberg et Richter et à Jeffreys et Bullen. En 1928, Gutenberg publia son *Frankfurter Laufzeitkurven*, basé sur une grande quantité d'observations. En collaboration avec C. F. Richter, il augmenta considérablement ce travail. En 1936, ils publièrent ensemble la première partie de leur ouvrage sur «Les ondes sismiques», qui contenait des courbes de temps pour un grand nombre de phases. Les variations de l'amplitude étaient considérées comme correspondant aux distances où la courbure de la courbe de temps était plus ou moins accentuée que d'ordinaire. Les amplitudes des ondes enregistrées seraient relativement plus fortes aux distances où la courbe de temps s'infléchit nettement, tandis qu'elles seraient plus réduites là où la courbe se redresse. Les amplitudes furent mesurées et utilisées, et, bien que des renseignements très précis ne puissent être obtenus de cette façon, quelques indications utiles en furent déduites.

Les résultats des enregistrements sismiques du monde entier sont rassemblés et publiés par l'*International Seismological Summary* (I.S.S.) pour lequel sont déterminés les foyers et les heures d'origine de chaque tremblement de terre. Pour résoudre les données jusqu'en 1928 inclusivement, les tables de Zöppritz furent utilisées, mais il devint de plus en plus visible que les temps fournis par ces tables s'écartaient sérieusement des durées de parcours réelles.

En 1928 Jeffreys commença son très important travail sur les durées de parcours par une révision préliminaire des tables de Zöppritz, en utilisant les données de l'I.S.S. Plus tard, il entreprit une révision complète en collaboration avec K. E. Bullen. Ils utilisèrent une grande quantité de données, et pour la première fois appliquèrent des méthodes statistiques et évaluèrent la précision des résultats. Ceci impliquait un travail difficile et considérable, étant donnée la complication des opérations nécessaires. Après le travail essentiel, de nombreuses recherches spéciales suivirent, améliorant quelque peu les premiers résultats. En 1940, les «Tables sismologiques» de Jeffreys-Bullen (J-B) furent publiées, et ce sont elles que l'on utilise actuellement pour le I.S.S.

Jeffreys calcula d'après ces tables la variation de la vitesse avec la profondeur (figure 8). Dans l'ensemble, les vitesses des ondes P et S augmentent en direction du noyau. Jeffreys trouva que la

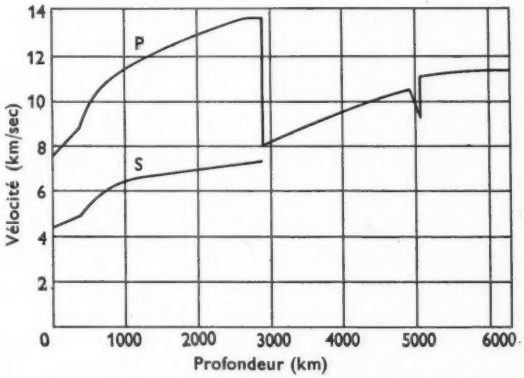

FIGURE 8 – *Vitesses en fonction de la profondeur, d'après H. Jeffreys*, 1939.

vitesse des ondes P était de 5,6 km/sec dans l'écorce supérieure au-dessous des sédiments, et de 13,6 km/sec à la limite du noyau où elle diminuait jusqu'à 8,1 km/sec. La profondeur augmentant, la vitesse croît régulièrement dans le noyau externe jusqu'à environ 10,4 km/sec. Dans le noyau interne, elle se tient aux environs de 11,2 km/sec.

La vitesse ne croît pas uniformément avec la profondeur dans toute l'épaisseur de l'enveloppe. Dans la partie supérieure de l'enveloppe, la vitesse augmente lentement, mais à quelques centaines de kilomètres de profondeur, on constate un fort accroissement de la vitesse, indiqué par une flexion de la courbe de temps à une distance d'environ 20° de l'épicentre. Vers 1 000 km de profondeur, l'accroissement de la vitesse redevient lent.

Dans l'ensemble, les vitesses calculées d'après les tables J-B sont probablement assez exactes, bien qu'il y ait quelques sérieuses incertitudes. Ceci est dû en grande partie à la difficulté qu'il y a à déterminer la pente exacte de la courbe de temps. Les limites des régions de l'enveloppe où les gradients de vitesse diffèrent sont indiquées par les variations de la pente et de la courbure de la courbe de temps, mais nos données ne sont pas assez précises pour nous permettre de savoir exactement quand celles-ci se produisent. Il a été particulièrement difficile de déterminer les variations de la vitesse près de la limite du noyau interne.

Une énorme quantité de données, valables pour la plupart, se sont accumulées depuis que Jeffreys et Bullen ont établi leurs tables. On a construit de nouveaux sismographes qui fournissent avec une précision plus grande les heures d'arrivée des phases. De plus, des méthodes par explosion ont fait leur apparition. Celles-ci ont, depuis de nombreuses années été utilisées pour l'exploration de l'écorce, spécialement pour la recherche du pétrole; depuis la seconde Guerre mondiale, des explosifs plus efficaces sont en service et nombre d'explosions ont fourni des résultats concernant la partie supérieure de l'enveloppe. Quelques explosions accidentelles importantes ont aussi procuré aux sismologues de nouvelles données. On a ainsi découvert que la vitesse juste au-dessous de l'écorce était plus grande que celle que l'on pouvait déduire des tables J-B. Jeffreys signala ce fait, et donna par la suite pour les ondes P des tables rectifiées pour les distances au-dessous de 30°. Ses tables étaient établies pour l'Europe car, pour compliquer le sujet, on s'aperçut qu'il y avait des zones différentes non seulement dans l'écorce mais aussi dans l'enveloppe supérieure. Les nouvelles tables montraient que la forte augmentation du gradient de la vitesse dans l'enveloppe, que l'on situait tout d'abord à environ 400 km de profondeur, peut se produire à une profondeur moindre, sans doute entre 200 et 250 km. Cependant, les tentatives faites pour fixer cette profondeur avec précision ont rencontré jusqu'ici des difficultés insurmontables.

L'étude de l'intérieur de la Terre est entreprise de plusieurs côtés à la fois. La partie supérieure de l'enveloppe joue un grand rôle dans de nombreuses recherches, et les géophysiciens, en différents domaines, réclament aux sismologues des renseignements précis et détaillés. Avons-nous les moyens de fournir de tels renseignements?

Le discours présidentiel de K. E. Bullen à l'Association internationale de Sismologie et de Physique de l'intérieur de la Terre, réunie à Toronto en 1957, avait pour titre: «la Sismologie à l'âge atomique». Il y faisait ressortir que les explosions atomiques avaient une énergie beaucoup plus grande que les explosions chimiques actuellement utilisables, et qu'elles envoyaient des ondes très profondément à l'intérieur de la Terre. Quelques explosions atomiques ont été enregistrées par les sismographes, mais les autorités ont toujours montré quelque réticence à fournir des renseignements préalables concernant l'heure et le lieu des explosions. Bien que du point de vue sismologique cela réduise la valeur de ces explosions, quelques résultats importants ont été obtenus, qui n'auraient pu l'être par l'observation des tremblements de terre. Il est certain que si une occasion se présentait d'enregistrer de telles explosions sur des sismographes placés à des distances appropriées de leur source, les renseignements obtenus nous aideraient à résoudre les problèmes qui nous échappent à l'heure actuelle. Ainsi que Bullen le dit, nous subissons le supplice de Tantale, car les instruments dont nous avons tant besoin sont à notre portée, mais nous ne pourrons sans doute jamais nous en servir. Etant donnée la crainte croissante des effets dangereux des explosions atomiques, les sismologues ne peuvent guère espérer pouvoir en provoquer une pour leur propre compte. Cependant, si des bombes doivent exploser pour d'autres raisons, et que les sismologues soient avertis à temps du lieu et de l'heure, comme cela s'est produit récemment, ils pourront certainement en tirer parti.

Il faut également se rappeler qu'un grand nombre de données concernant les tremblements

de terre ne sont pas encore résolues et que, adroitement maniées, elles peuvent fournir des résultats fructueux. De nouvelles méthodes sont sur le point d'être utilisées dans l'étude des séismes. Les ondes superficielles, dont nous ne nous sommes pas occupés ici, se répandent sur la surface de la Terre, mais aussi s'enfoncent à quelque profondeur; dans les violents tremblements de terre, elles peuvent pénétrer jusqu'à une profondeur considérable. L'étude intensive des ondes de surface poursuivie ces dernières années, spécialement à l'Observatoire géologique de Lamont, a permis de compléter l'exploration de l'écorce et de la partie supérieure de l'enveloppe.

Bien que la sismologie nous apprenne un grand nombre de choses sur l'intérieur de la Terre, il y en a encore certainement beaucoup d'autres que nous désirerions connaître. Si nous demandons, par exemple, quels sont les matériaux existant à l'intérieur de la Terre, sous quelle forme ils se présentent, quelle est leur densité, etc., la sismologie seule ne peut nous répondre. Nous devons demander des renseignements supplémentaires à d'autres branches de la géophysique et à d'autres sciences telles la géologie, la physique et la chimie de l'intérieur de la Terre et l'astronomie. On a porté grande attention à ces questions durant ces dernières années, mais les résultats sont, pour une grande part, sujets à controverse.

D'importants résultats sur la variation de la densité à l'intérieur de la Terre ont été obtenus par K. E. Bullen. Les vitesses des ondes sismiques P et S dépendent de la densité de la matière qui les transmet, et de l'élasticité caractérisée par la rigidité et l'incompressibilité. Ces trois facteurs ne peuvent être déduits de la valeur des deux vitesses, mais une évaluation peut en être faite en tenant compte de renseignements provenant d'autres sources. Bullen a calculé que la densité s'accroît dans l'enveloppe, et passe d'environ 3,3 g/cm^3 juste au-dessous de la discontinuité de Mohorovičić, à environ 5,5 à la partie inférieure de l'enveloppe. Puis, elle passe brusquement à 9,5 et atteint 11,5 à la partie inférieure du noyau extérieur. Dans le noyau interne se produit une forte augmentation. La rigidité qui représente la résistance à la rupture s'accroît dans l'enveloppe jusqu'à atteindre près de quatre fois celle de l'acier ordinaire. D'autre part, la rigidité dans le noyau interne est très réduite, et c'est pourquoi nous disons que le noyau est fluide. D'un autre côté, l'incompressibilité ou la résistance à la pression ne change pas matériellement à la limite du noyau. La pression a été évaluée à environ 1⅓ millions d'atmosphères à la partie inférieure de l'enveloppe, et à environ 4 millions d'atmosphères au centre de la Terre. Au terme d'un long raisonnement, Bullen arriva à la conclusion que le noyau interne se présente vraisemblablement comme un solide.

La composition de l'écorce continentale varie beaucoup d'une région à l'autre. L'un de ses principaux constituants est le granite qui est absent sous les océans profonds où l'écorce est beaucoup plus mince. La partie supérieure de l'enveloppe est considérée comme formée de roches hyper-basiques telles que l'olivine. Un passage s'opère vraisemblablement, d'une espèce d'olivine à une autre sans doute, dans la région où les vitesses sismiques augmentent plus fortement qu'ailleurs, cette région commençant à quelques centaines de kilomètres de profondeur. On a cru pendant longtemps que le noyau était formé de fer et de nickel, mais des recherches récentes ont montré que le noyau extérieur consiste probablement en matériaux assez semblables à ceux qui forment l'enveloppe, mais transformés par les pressions élevées. On croit encore que le noyau interne contient principalement du fer et du nickel.

RÉFÉRENCES

OLDHAM, R. D. *Quart. J. geol. Soc. Lond.*, **62**, 456, 1906.

MOHOROVIČIĆ, A. *Jb. met. Obs. Zagreb*, **9**, 1, 1910.

GUTENBERG, B. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl.*, 1, 1914.

GUTENBERG, B. et RICHTER, C. F. *Beitr. Geophys.*, **43**, 56, 1934.

JEFFREYS, H. et BULLEN, K. E. *Publ. Bur. Centr. Séism, Internat.*, A, 11, 1, 1935.

JEFFREYS, H. *Ibid.*, *A*, 14, 1, 1936.

Revue des livres

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

DAVIES, M., EDDISON, R. T. et PAGE, T., directeurs de publication: *Proceedings of the First International Conference on Operational Research*, Oxford, 1957. Pp. VIII + 526. The English Universities Press Ltd., Londres. 1958. 50s.

La recherche opérationnelle a maintenant l'importance et l'envergure d'une science à part. Elle a ses méthodes et ses champs d'application particuliers et les premières comprennent plusieurs branches nouvelles des mathématiques appliquées.

La première conférence internationale sur le sujet eut le concours de 250 délégués de 21 pays différents. On y présenta 28 articles environ sur le rôle et la raison d'être de la recherche opérationnelle ainsi que sur ses méthodes et ses applications. Certains, comme celui de Naor sur l'interférence de la machine et celui de Koopmans sur la mise en réserve d'eau, montrent le degré de recherche presque excessive de la partie mathématique; d'autres, comme celui de Stringer et Haley sur un problème de transport en grand, révèlent un mélange délicat d'expression mathématique et d'analyse numérique où entre l'emploi d'un calculateur analogique spécial. L'article de Clapham et Dunn sur les communications dans les mines est un très bon exemple du genre de recherche opérationnelle hautement pratique exercée, dans ce cas, par le *National Coal Board*.

Le stade de développement de la recherche opérationnelle (en 1957) est indiqué pour 16 pays différents, ce qui prouve qu'elle est maintenant pratiquée sur une échelle mondiale.

L. S. GODDARD

CHIMIE

SMITH, I., directeur de publication: *Chromatographic Techniques: Clinical and Biochemical Applications*. Pp. XIII + 309. William Heinemann Ltd., Londres. 1958. 45s.

Ce volume traite presque exclusivement des techniques de chromatographie sur papier. Le titre est donc discutable car il suggère une étude plus vaste. Mais nous n'avons pas de réserves à faire sur le contenu. Sous la direction du Dr Smith, auteur de plusieurs contributions importantes, neuf spécialistes s'occupent des techniques et des applications de la chromatographie sur papier dans leur domaine particulier. Dans les chapitres sur les composés aminés, les sucres, les acides phénoliques et les stéroïdes, il y a, en outre, des sections séparées sur les interprétations cliniques. Le dernier chapitre donne des expériences-modèles à l'intention des étudiants.

C'est un ouvrage essentiellement pratique et, étant basé sur la vaste expérience du Dr Smith et de ses collaborateurs, il sera indispensable au chercheur de laboratoire voulant appliquer pour la première fois la chromatographie à ses propres problèmes. On appréciera particulièrement les indications pratiques détaillées, car le manque de place empêche souvent les auteurs de s'étendre sur les techniques dans les textes originaux. Les spécialistes trouveront ici beaucoup de détails non publiés sur les réactifs et les solvants avec des instructions complètes sur leur emploi. La bibliographie est suffisamment détaillée pour permettre à ceux qui le désirent de poursuivre leur étude de la chromatographie.

A. J. WOIWOD

VOGEL, A. I.: *Elementary Practical Organic Chemistry*. Pp. XXVIII + 890. Longmans, Green & Co. Ltd., Londres. 1958. 45s.

Ce volume est en trois parties, déjà parues séparément. La première est un manuel de préparations de chimie organique employant des produits organiques en petites quantités (1–25 g) et des appareils à échelle réduite spécialement conçus par l'auteur dans certains cas. La partie II est sur l'analyse qualitative et contient des tableaux de dérivés beaucoup plus complets que ceux qu'on trouve d'ordinaire dans les manuels élémentaires. La troisième expose les méthodes d'analyse organique quantitative, basées surtout sur la détermination des groupes fonctionnels par des méthodes anciennes et nouvelles, mais étudie aussi le dosage de l'azote, des halogènes et du soufre. Beaucoup d'étudiants la trouveront en grande partie inutile et sa présence contestable dans un ouvrage pour débutants, mais la «triade» permettra une économie appréciable à ceux qui auront besoin des trois sections.

La présentation est tout au long excellente et le style très clair et il y a un grand nombre de dessins au trait. Les préparations ont toutes été vérifiées dans le laboratoire de l'auteur et sont très détaillées. En tomes séparés ou en un seul volume, l'œuvre mérite d'être recommandée vivement.

J. F. W. MCOMIE

BEYER, H.: *Lehrbuch der organischen Chemie* (5e édition). Pp. XVI + 690. S. Hirzel Verlag, Leipzig. 1958. 22,50 DM.

Version en partie corrigée, mais non augmentée de la 3e/4e édition de 1955. La chimie organique est entièrement traitée en 647 pages.

Après une introduction de 29 pages sur la purification, l'analyse et la théorie du mode de liaison chimique, on trouve 268 pages sur les composés aliphatiques, 8 sur les cycloparaffines, 140 sur les composés aromatiques, 41 sur les hydroaromatiques, les terpènes et les stéroïdes, 114 sur les composés hétérocycliques, 46 sur les protéines et les enzymes. Il y a un bon index de 43 pages et les notes bibliographiques sont très à jour, allant en certains cas jusqu'à la fin de 1957.

L'étude des mécanismes de réaction est vite abordée et se poursuit tout au long du volume; les symboles utilisés ne diffèrent pas grandement de ceux des textes anglais. Le pétrole, les plastiques, la stéréochimie, les coenzymes, le cycle de l'acide citrique, les terpènes, les stéroïdes et les alcaloïdes sont traités brièvement mais avec compétence. Les caroténoïdes n'occupent que 4 pages et l'étude des dégradations, des synthèses et même la couleur des composés importants ne figurent pas. On note un manque d'uniformité gênant dans les formules des composés cycliques: les atomes de carbone, par exemple, sont omis des formules des naphtaquinones à la page 431, mais les dérivés de l'anthraquinone (pp. 436–41) ont des groupements C=O exagérés, placés bien à l'extérieur du cycle.

L'ouvrage fait un tableau d'ensemble impressionnant de l'étendue de la chimie organique, en dépit de la brièveté forcée de la plupart des sujets dans un volume de cette taille.

J. C. SMITH

BROWN, G. I.: *An Introduction to Electronic Theories of Organic Chemistry*. Pp. VIII + 209. Longmans, Green & Co. Ltd., Londres. 1958. 15s.

En relativement peu de temps,

l'application des théories électroniques aux problèmes de constitution et de réaction a profondément changé la nature de la chimie organique. La transformation est si radicale que, même pour étudier les éléments du sujet, on est obligé de se familiariser, au moins qualitativement, avec les principaux aspects des théories en question. Le livre de M. Brown présente de façon remarquablement claire les connaissances nécessaires.

Après une introduction historique brève sur l'évolution de la conception de la structure générale des composés organiques, on trouve un chapitre sur la nature de l'atome, peut-être un peu trop condensé et qui servirait mieux de récapitulation à l'étudiant avancé que d'introduction au débutant. Cette critique ne s'applique pas au reste de l'ouvrage qui passe logiquement de la formation des liaisons interatomiques et de la nature de la covalence à la structure du benzène, à la substitution dans le noyau benzénique et aux mécanismes de réaction. Le mode de liaison de l'hydrogène occupe un chapitre court mais suffisant qui décrit et explique son influence sur la force basique et la solubilité des amines ainsi que sur l'association et la chélation. Le livre sera utile non seulement aux élèves se spécialisant en science mais aux étudiants et organiciens ayant besoin d'une revue rapide de la théorie électronique par rapport à certains aspects de leur sujet.

E. J. HOLMYARD

PACKER, J. et VAUGHAN, J.: *A Modern Approach to Organic Chemistry*. Pp. x+973. Oxford University Press, Londres. 1958. 84s.

L'étude des mécanismes de réaction en chimie organique depuis trente ans a été si fructueuse qu'elle a révolutionné la conception et la pratique du sujet. En Grande-Bretagne on a été lent à introduire les nouveaux principes dans les cours universitaires et cela se reflète dans un manque de manuels élémentaires où les concepts mécanistiques fassent partie intégrante de l'exposé. Les auteurs se proposent de remédier à cet état de choses et ont fait une contribution utile dans les limites qu'ils se sont fixées. La théorie est présentée (de façon bien anglaise, sans doute) quand elle est nécessaire. Ainsi la théorie de la structure par rapport aux orbitales atomiques et moléculaires paraît dans un chapitre d'introduction; le concept de résonance est cité pour la première fois dans l'étude des di-oléfines conjuguées; l'homolyse et l'hétérolyse sont définies avant les réactions additives des alcènes; les réactions de substitution et d'élimination figurent au chapitre sur les halogénures d'alcoyle. Les mécanismes de réaction sont inclus dans tous les cas possibles et les auteurs indiquent généralement quand ils sont purement supposés. Un peu plus de la moitié du volume est consacrée à la chimie aliphatique et le reste aux composés aromatiques et hétérocycliques, ces derniers n'occupant que 45 pages. Pour un ouvrage essayant de présenter «un point de vue moderne en chimie organique», il y a des omissions regrettables. Les facteurs stériques dans les mécanismes de réaction et l'analyse structurale sont à peine cités et les produits naturels, dont les protéines, vitamines, alcaloïdes, dérivés stéraniques et terpéniques ainsi que le concept de biogenèse sont complètement omis. Le point de vue est trop limité pour qu'on puisse recommander le livre aux étudiants, vu son prix élevé.

L'impression et la présentation sont excellentes dans l'ensemble. On déplore cependant l'emploi irréfléchi des symboles du cyclohexane et de Kekulé pour représenter les noyaux aromatiques.

K. H. OVERTON

GÉOPHYSIQUE

RAWER, K.: *The Ionosphere*. Pp. 202. Crosby Lockwood & Son Ltd., Londres. 1958. 42s.

L'édition allemande de cet ouvrage, qui date de 5 ans, est déjà connue de nombreux chercheurs de l'ionosphère. La traduction anglaise sera donc bien accueillie.

La description de la méthode d'échosondage et de la propagation des ondes radioélectriques dans un milieu ionisé fournit l'introduction au sujet. On trouve aussi d'autres méthodes d'exploration de l'atmosphère supérieure, dont les fusées. Les satellites artificiels ne figurent naturellement pas. L'auteur offre diverses théories sur la formation des couches ionisées et discute les variations régulières et non de l'ionosphère. Le dernier chapitre concerne l'application des résultats à la radiocommunication pratique.

Le volume sera surtout utile aux chercheurs et aux ingénieurs radioélectriciens s'intéressant aux aspects scientifiques de la recherche sur l'atmosphère supérieure. La bibliographie détaillée a grande valeur. Mais le lecteur moyen aura de la difficulté à suivre, à part quelques sections d'intérêt général.

La traduction anglaise n'est malheureusement pas aussi claire que l'original. Le texte donne l'impression d'avoir été traduit mot à mot, sans aucun essai d'anglais idiomatique. Le vocabulaire technique courant n'est même pas toujours rendu exactement. Les spécialistes devineront sans doute le sens dans la plupart des cas. Mais les débutants apprendront des termes bizarres s'ils limitent leurs lectures à ce volume.

B. H. BRIGGS

BIOLOGIE

BONNER, J. T.: *The Evolution of Development*. Pp. VII+103. Cambridge University Press, Londres. 1958. 17s. 6d.

Chez les organismes unicellulaires microscopiques, les jeunes ne diffèrent des adultes que par la taille; il n'y a pas de processus embryologiques comparables à ceux des animaux supérieurs. Ces processus ont, semble-t-il, divergé indépendamment dans des directions multiples à mesure qu'apparaissaient les organismes multicellulaires. Les formes multicellulaires simples existantes ont des formes de développement diverses et l'auteur essaie de déduire de leur étude l'avantage fourni pour la survivance par la différence entre jeunes et adultes. Ainsi, les moisissures de la boue n'ont pas de processus de méiose et de fertilisation mais leur méthode de reproduction permet à sa façon la mutation et la dispersion des variantes. Les modifications évolutionnaires d'adaptation peuvent donc se transmettre, mais sans aucun des avantages de recombinaison fournis par les processus sexuels. Le mécanisme de «développement» dans ces organismes ne suit pas la division d'un œuf fertilisé mais résulte de la fusion de nombreuses cellules amiboïdes séparées. L'espèce reçoit ainsi à la fois les avantages de la reproduction par division en individus petits et de la différenciation et de la grande taille chez l'adulte.

L'auteur exploite ingénieusement l'idée qu'il s'agit d'un «jeu de variations» et que, pour les déployer effectivement, il faut un processus de développement avec espacement convenable des parties sous le contrôle d'un système de communication des polarités et des gradations.

A la lumière de cette idée, il examine de nombreux systèmes de reproduction chez les animaux inférieurs. Il s'intéresse finalement à un sujet tout différent, celui de la communication

entre les animaux supérieurs comme la professe l'école éthologique de Tinbergen et Lorenz. La raison de ce choix n'est pas claire car les exemples de communication dans la physiologie et le comportement des organismes supérieurs sont multiples. Les divers types de communications ne peuvent s'éclairer mutuellement que par l'emploi d'une terminologie exacte et commune, comme celle de la théorie de l'information qui, malheureusement, ne figure pas. J. Z. YOUNG

BIOCHIMIE

NEUBERGER, A., publié par: *Symposium on Protein Structure*. Pp. 351. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1958. 45s.

Ceux qui assistèrent à la Conférence de l'I.U.P.A.C. sur la structure des protéines tenue à Paris en 1957 trouveront ici un compte rendu fidèle, non seulement des discussions, mais de l'esprit de la conférence. Les articles, de nombre forcément limité, couvrent un champ étendu tout en reflétant un thème très bien mis en relief par le Professeur Neuberger.

L'étude des protéines individuelles dans ce volume révèle l'acceptation des notions de structure primaire, secondaire et tertiaire pour aider à l'identification de leur nature. Les apports des chimistes physiciens et organiciens sont profitablement juxtaposés. Ainsi, la détermination de l'ordre des amino-acides dans les enzymes (comme la ribonucléase, étudiée ici) semble être une condition préalable des recherches sur la chimie du centre actif. La configuration spatiale de la protéine doit aussi jouer un rôle vital et il se peut que des méthodes comme celle de l'échange de deutérium et la cristallographie par les rayons X fournissent une solution.

Ces méthodes sont étudiées ici mais l'intérêt de leur discussion tient surtout à ce qu'elle révèle des progrès futurs dans ce domaine. Des «fractions actives» de papaïne, de pepsine, d'énolase et d'albumine de sérum bovin sont citées. Des «enchaînements courants d'amino-acides» dans les hormones pituitaires et les protéinases pancréatiques sont étudiés. Les développements de la cristallographie aux rayons X et de l'immunologie sont indiqués et des articles sur l'hémoglobine et le virus de la mosaïque du tabac font entrevoir que la microstructure des protéines pourrait bien devenir, comme le prévoit Fraenkel-Conrat, «la pierre de Rosette de la génétique biochimique.» B. S. HARTLEY

DIXON, M. et WEBB, E. C.: *Enzymes*. Longmans, Green & Co. Ltd., Londres. 1958. 90s.

Ouvrage encyclopédique où sont classées 659 réactions enzymatiques et où sont photographiées, à l'exception de 15 seulement, toutes les enzymes qui ont été cristallisées. On y trouve de plus une étude systématique et la classification de presque toutes les propriétés d'enzymes qui pourraient rendre service au chercheur. Il y a de nombreux renvois aux articles originaux d'où provient cette richesse d'information. Les techniques expérimentales sont, toutefois, à peine étudiées; seules, quelques méthodes de purification des enzymes et de mesure des vitesses sont brièvement résumées. A propos, on s'étonne que le court chapitre sur les techniques d'enzymes renferme de l'algèbre cinétique élémentaire mieux à sa place dans celui traitant de la cinétique des enzymes. Mais c'était évidemment l'intention de l'auteur et la plupart des critiques que l'on peut formuler sur un chapitre ou sur un autre sont des questions d'opinion personnelle sur l'ordre ou l'importance accordée à divers sujets. Il y a naturellement quelques erreurs et ambiguïtés et la recommandation un peu forcée d'une hypothèse peu importante, mais dans l'ensemble le livre sera un guide sûr pour l'étude des propriétés d'enzymes isolées. H. GUTFREUND

LAIDLER, K. J.: *The Chemical Kinetics of Enzyme Action*. Pp. VI+419. Clarendon Press, Oxford. 1958. 60s.

Les éditeurs déclarent sur la chemise du volume qu'il s'adresse à la fois aux biologistes s'intéressant aux mécanismes enzymatiques et aux chimistes physiciens cherchant à appliquer leurs méthodes aux systèmes biologiques. Son utilité nous paraît beaucoup moindre et «Cinétique à l'usage des biochimistes et enzymologistes» nous semble un titre mieux approprié. A ce point de vue-là, il rendra grand service. Mais nous ne conseillons pas au chimiste physicien voulant appliquer ses méthodes aux problèmes biologiques de s'en servir comme guide. Il est évident que l'auteur excelle au maniement des équations cinétiques et les présente avec limpidité. Il aurait mieux fait de s'arrêter là et d'inclure dans son étude les systèmes à enzymes multiples et les processus d'état stable. Une bonne partie des faits sur la biochimie des enzymes et leurs réactions sont bien mieux présentés ailleurs et beaucoup de renseignements numériques donnés sont inexacts.

Si l'on en croit les dates des ouvrages cités, l'auteur attendit deux ans avant de faire paraître le livre. La bibliographie supplémentaire sur les publications récentes ne compense pas vraiment ce long délai. La correction des épreuves aurait pu aussi être plus soignée dans un volume ayant mis si longtemps à paraître.

En dépit de ces critiques, le volume sera souvent consulté.

H. GUTFREUND

BOTANIQUE

THIMANN, K. V., directeur de publication, aidé par CRITCHFIELD, W. B. et ZIMMERMANN, M. H.: *The Physiology of Forest Trees*. Pp. XVI+678. The Ronald Press Co., New-York. 1958. $12.

La Fondation Maria Moors Cabot mérite nos félicitations pour avoir organisé la conférence rapportée ici, où se réunirent à Harvard Forest les physiologistes s'intéressant activement aux arbres forestiers.

Les articles sérieux et la discussion de nombreux points firent naturellement ressortir les problèmes essentiels et démontrèrent l'importance des travaux physiologiques récents aux savants forestiers. L'œuvre est divisée en 9 parties: rapports concernant l'eau, photosynthèse, biochimie, nutrition minérale, transport du phloème, croissance des racines, phénomènes de croissance générale, la photopériodicité et thermopériodicité et reproduction. Chaque partie est faite d'une série d'articles, dont certains passent en revue et d'autres présentent les méthodes ou résultats de travaux particuliers. L'aspect le plus louable de la conférence est l'insistance sur la physiologie des végétaux entiers, car bien qu'une bonne partie du travail expérimental doive être exécutée sur des sauvageons ou certaines parties de l'arbre, chaque collaborateur s'est efforcé d'évaluer dans quelle mesure les résultats s'appliquaient à l'arbre entier.

Le volume, bien édité et indexé, intéressera à la fois les physiologistes végétaux et les forestiers professionnels. Certaines sections, comme celles sur la photosynthèse et les phénomènes de croissance, font le point de connaissances physiologiques si essentielles à la sylviculture qu'on se demande si on ne

ferait pas bien d'avoir des conférences ou des mises au point de cette nature plus fréquemment. J. L. HARLEY

ZOOLOGIE

RAVEN, C. P.: *Morphogenesis: The Analysis of Molluscan Development*. Pp. XII + 311. Pergamon Press Ltd., Londres. 1958. 70s.

Dans ce livre, qui doit beaucoup à ses propres travaux sur l'évolution de l'hélice aquatique (*Limnaea stagnalis*), le Professeur Raven a réuni toutes les connaissances sur l'évolution des Mollusques et montre comment les études expérimentales modernes révèlent les forces directrices et les interactions chimiques responsables des changements structuraux observés. Il en résulte un ouvrage beaucoup mieux équilibré que s'il s'occupait uniquement d'embryologie expérimentale et chimique; il gagne en profondeur plus qu'il ne perd en envergure.

Traitant d'abord de structure à tous les degrés de complexité puis d'analyse causale dans la mesure où les expérimentalistes l'ont mis au point, le Professeur Raven débute par l'oogenèse suivie de chapitres sur la maturation et la fertilisation, la division, la gastrulation, l'embryogenèse et l'organogenèse. Tous sont clairement présentés et, surtout les premiers, admirablement illustrés. La bibliographie développée donne le titre complet de tous les articles, point qui sera apprécié.

Les gènes du noyau, un certain choix de matériaux dans le cytoplasme et un champ cortical doué non seulement de polarité mais d'une organisation dorso-ventrale et transversale sont les facteurs principaux du développement. On entrevoit des domaines de recherche captivants. Tous profiteront de ce volume, qu'ils soient spécialistes des Mollusques, embryologistes ou zoologistes tout court. C. M. YONGE

CLOUDSLEY-THOMPSON, J. L.: *Spiders, Scorpions, Centipedes and Mites. The Ecology and Natural History of Woodlice, «Myriapods» and Arachnids*. Pp. XIV + 228. Pergamon Press Ltd., Londres. 1958. 50s.

Le sous-titre, mieux que le titre incomplet, précise le but de ce livre excellemment présenté et rédigé. Il s'agit, en effet, d'écologie, c'est-à-dire de la Vie et de son milieu et l'auteur est un spécialiste de ces questions; il connaît bien les animaux dont il parle et cela est capital dans ce genre de travail. Chaque chapitre intéresse un groupe zoologique particulier mais est construit sur le même plan: classification, distribution, comportement, nutrition, cycle vital, reproduction; le tout illustré d'excellentes photographies, de dessins et de schémas. Le thème essentiel de ce livre est en fait la Vie animale et il est impossible de le résumer ici. Une foule d'observations personnelles, de pertinentes remarques appuyées par un texte clair, très condensé, mettent en relief quelques-uns des problèmes essentiels — notamment celui de l'eau et des échanges — venant à l'esprit de celui qui réfléchit devant les aspects si variés du comportement animal. Ce livre, même pour le spécialiste, est riche d'enseignements et il sera lu avec intérêt et profit par tous ceux qui cherchent à comprendre la Vie et ses adaptations. M. VACHON

MÉDECINE

British Medical Bulletin, Vol. XIV, No. 2, *Causation of Cancer*. Pp. 73–196. The British Council, Londres. 1958. 25s.

Ce numéro du Bulletin médical britannique sur les causes du cancer renferme 21 études du sujet faites par 27 chercheurs dans 16 centres différents de Grande-Bretagne et du Commonwealth. Paraissant 11 ans après une revue similaire de la question dans la même publication, il relate les progrès réalisés pendant cette période de développement rapide de l'étude de la carcinogenèse.

En 150 pages seulement, l'auteur ne visait évidemment qu'à une interprétation des faits plutôt qu'à une analyse complète. Les notes ne mentionnent guère de travaux antérieurs à 1947 et choisissent les œuvres significatives seulement après cette date. Mais, bien que cette méthode permette un certain parti pris, un degré louable d'objectivité a cependant été maintenu dans la plupart des articles. De plus, ce traitement du sujet, avec ses spéculations prudentes, contribue à démontrer le développement logique et le sens de direction dans chaque aspect de la question — qualité que l'on ne rencontre pas souvent dans les études plus complètes. Il corrige utilement l'idée selon laquelle en science, seuls les faits comptent.

Les titres indiquent les portions du sujet où les progrès ont été les plus remarquables. Ainsi, des 21 études, cinq sont consacrées aux radiations et deux d'entre elles à la leucémogenèse; deux traitent de la carcinogenèse de la vessie et une autre de la question apparentée des amines aromatiques. Deux autres s'occupent de la cocarcinogenèse; une de la carcinogenèse endocrine et une des aspects dynamiques de la carcinogenèse chimique. D'autres articles, représentant des progrès moins dramatiques, traitent du pouvoir carcinogène des fractions d'huile de pétrole, de la carcinogenèse professionnelle, de la carcinogenèse expérimentale du foie, des facteurs exogènes dans les tumeurs du poumon et de la carcinogenèse du cholestérol. L'étude de la carcinogenèse avienne ne rapporte pas de grands progrès récents; celle du fondement immunologique de la carcinogenèse est largement spéculative et celle de l'examen biologique des carcinogènes chimiques a tendance à être nettement pratique. L'introduction, qui étudie ces derniers et leur mode d'action, est de conception vaste, tout en insistant peut-être exagérément sur le mécanisme des réactions chimiques. I. BERENBLUM

GRUMBACH, A. et KIKUTH, W., publié par: *Die Infektionskrankheiten des Menschen und ihre Erreger*, Vols. 1 et 2. Pp. XL + 840; 841–1702. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1958. 198 DM.

Ces volumes cherchent à rapprocher cliniciens et biologistes en donnant aux premiers une idée des progrès modernes de la microbiologie et de la parasitologie et aux seconds un aperçu clinique. C'est avant tout un manuel de microbiologie.

Les principes fondamentaux des rapports entre hôte et parasite, de l'immunité, de l'épidémiologie, de la chimiothérapie et de la morphologie et physiologie des bactéries, rickettsies, virus, champignons, protozoaires et helminthes sont énoncés dans les 400 pages environ de la section générale.

Les divers micro-organismes pathogéniques sont traités individuellement dans la section spéciale. Une brève description de la condition clinique causée par le parasite est suivie de l'étude poussée de la morphologie, de la physiologie et de la biochimie de l'organisme. La discussion critique de la pathogénie, de l'épidémiologie, du diagnostic, de la thérapie spécifique et de la prophylaxie complète le tableau. Chaque section renferme des notes bibliographiques nombreuses avec titres d'articles, étant au courant des dernières publications d'Amérique. d'Angleterre et d'Europe continentale, Ce n'est pas un manuel de laboratoire et il n'y a pas d'illustrations photographiques. C'est pourtant un ouvrage

de référence de valeur où les directeurs de publication ont réussi à maintenir un niveau remarquable de clarté et de jugement critique dans les apports de 17 auteurs différents. R. L. VOLLUM

HISTOIRE DE LA SCIENCE

THORNDIKE, Lynn: *A History of Magic and Experimental Science*. Vols. VII et VIII: *The Seventeenth Century*. Pp. x + 695 et VIII + 808. Columbia University Press, New-York; Oxford University Press, Londres. 1958. 80s. le volume.

Tous les historiens scientifiques connaissent les premiers volumes de l'œuvre magistrale du Professeur Thorndike et la considèrent, à juste titre, indispensable aux étudiants sérieux du sujet. Ces deux derniers tomes méritent le même respect. On y trouve la même connaissance extraordinaire des sources. Mais l'érudition du Professeur Thorndike n'est pas pesante: le style coule avec aisance et conviction. Les remarques, critiques et opinions ont une individualité rafraîchissante et sont souvent agrémentées d'un humour caustique.

Au XVIIe siècle, l'ère de la science moderne était déjà amorcée. Il est pourtant facile de surestimer l'étendue et la profondeur de la pensée rationnelle et scientifique de l'époque. Les arts occultes et les pseudo-sciences florissaient encore, souvent chez ceux qui effectuèrent des progrès scientifiques réels de premier ordre. Newton, par exemple, était «un addict effréné» de l'alchimie. Boyle pensait qu'on pouvait guérir l'angine en étranglant une vipère avec «divers sortes de fils» et en nouant ceux-ci autour du cou du malade et Descartes croyait que les blessures d'un cadavre saignaient à l'approche du meurtrier. Il faut naturellement tenir compte de telles aberrations dans un tableau exact de la science au XVIIe siècle. C'est un des grands mérites de l'œuvre que d'offrir une juste perspective de la pensée et du progrès humains. E. J. HOLMYARD

D'ARCY THOMPSON, Ruth: *D'Arcy Wentworth Thompson, the Scholar-naturalist*, 1860–1948. Pp. XI + 244. Oxford University Press, Londres. 1958. 25s.

A une époque où le problème de la spécialisation excessive et de la fusion des humanités avec la science et la technologie inquiète partout les savants, il est important de se souvenir qu'il y a dix ans seulement mourut un homme qui le résolut personnellement. C'était D'Arcy Thompson, auteur de *Growth and Form* (un des rares ouvrages scientifiques assurés d'immortalité) et professeur à Dundee et St Andrews pendant plus de 60 ans. On sera reconnaissant à sa fille Ruth d'avoir écrit cette biographie sensible, franche et entièrement captivante. Elle réussit admirablement à faire revivre la personnalité débordante de son père, son esprit toujours actif et sa bonté unique.

Pour D'Arcy Thompson, il n'existait pas de cloisons étanches entre les sujets. Il passa une licence-ès-sciences. Son doctorat de Cambridge était en études classiques. Ses publications les plus importantes portèrent sur l'application des mathématiques à la biologie. Il fit des apports de premier ordre à la technologie de la pêche. C'était un des maîtres de la langue anglaise. Mais il paya la rançon de cette virtuosité: il publia très peu de recherches originales, au sens conventionnel du mot. On lit avec une certaine ironie les lettres de ses maîtres et amis l'incitant à poursuivre des recherches pour le bien de sa réputation. Heureusement, il fit la sourde oreille et fit, à la place, un apport unique à l'humanité. E. ASHBY

KEEVIL, J. J.: *Medicine and the Navy* 1200–1900. Vol. II, 1649–1714. Pp. XII + 332. E. & S. Livingstone Ltd., Edimbourg. 1958. 40s.

Ce volume, qui couvre la période du Commonwealth, du Protectorat et des premiers Stuarts, montre la transformation du service médical de la Marine britannique en un corps organisé répondant aux besoins spéciaux de la médecine et de la chirurgie à bord. L'évolution fut lente et sujette à des vicissitudes nombreuses; les médecins étaient peu payés, sans garantie d'emploi et, seuls parmi les officiers subordonnés, n'étaient pas nommés par brevet. L'amélioration de cet état de choses se produisit surtout par la force des circonstances. Les guerres presque ininterrompues de la période causèrent des pertes effroyables et les autorités furent poussées par la nécessité à subvenir de meilleure façon et plus amplement aux besoins des malades et des blessés. La maladie faisait plus de ravages que les hostilités; ainsi, l'expédition navale de Sir Francis Wheler à la Barbade en 1693 perdit 1 300 marins sur 2 100 et 1 800 soldats sur 2 400 de la fièvre jaune principalement.

En face de telles calamités, les gouvernements successifs de la période se rendirent compte peu à peu de l'importance d'un personnel médical suffisant, de l'équipement des quartiers de logement et de vaisseaux-hôpitaux pour la Marine. Le volume fait l'histoire de ces améliorations tardives et disséminées. Il est admirablement rédigé, très bien documenté et agréablement illustré. E. J. HOLMYARD

Brevets d'invention français, 1791–1902: *Un siècle de progrès technique*. Pp. 321. Ministère de l'Industrie et du Commerce, Paris. 1958.

Ce livre servira de guide et de catalogue à une exposition ouverte à l'Institut National de la Propriété Industrielle à Paris. Le but de l'exposition est d'illustrer le développement de la technique au cours du XIXe siècle au moyen de descriptions tirées de textes de brevets. Le nombre de ces derniers étant naturellement très grand, un choix rigoureux s'imposait et deux cents environ ont été finalement choisis, comprenant un grand nombre d'activités diverses telles que agriculture, alimentation, déplacement, textiles, machines à vapeur et autres, machines-outils, construction du bâtiment, travaux publics, mines, métallurgie, armes à feu, télécommunications, métrologie légale, électricité, céramique et fabrication du verre, chimie, chauffage, éclairage, réfrigération, arts graphiques, photographie et musique.

Outre la préface de Marcel Plaisant et l'avant-propos de Guillaume Finniss, on trouve une excellente introduction générale de Maurice Daumas, du Conservatoire National des Arts et Métiers. Chaque section du catalogue est aussi précédée d'une brève introduction. Dans l'exposition, les documents cités sont accompagnés d'illustrations telles que portraits, photographies, peintures et modèles réduits, qui figurent aussi dans le catalogue et augmentent considérablement son intérêt. Une des planches représente le brevet pris par Pasteur en 1865 sur un procédé relatif à la conservation des vins, une autre celui de Friedel et Crafts (1877) sur une méthode de préparation des hydrocarbures. On voit aussi la machine à coudre de Thimonnier (1830) et un modèle du four électrique de Héroult pour la production de l'aluminium.

Ce catalogue a une valeur permanente et beaucoup de scientifiques seront heureux de le posséder personnellement. E. J. HOLMYARD

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

BALLENTYNE, D. W. G. et WALKER, L. E. Q.: *A Dictionary of Named Effects and Laws in Chemistry, Physics and Mathematics*. Pp. v + 205. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1958. 30s.

Ce livre s'adresse aux scientifiques, surtout lorsqu'ils recontrent, au cours de lectures dans un domaine différent, des lois, effets ou réactions associés à un savant particulier. Les termes sont classés par ordre alphabétique et tous renseignements généraux, historiques et autres, ont été exclus.

TRELOAR, L. R. G.: *The Physics of Rubber Elasticity* (2e édition). Pp. 342. Oxford University Press, Londres. 1958. 40s.

Le but principal du livre est de faire la théorie statistique de l'élasticité du caoutchouc et de montrer comment elle peut expliquer la propriété physique essentielle des matériaux élastiques. Cette édition renferme une documentation nouvelle sur le gonflement, la cristallisation, la photo-élasticité et la théorie phénoménologique des déformations élastiques prononcées, sans oublier l'application de celle-ci aux problèmes de l'ingénieur.

SUTTON, L. E., publié par: *Tables of Interatomic Distances and Configuration in Molecules and Ions*. Pp. 365. The Chemical Society, Londres. 1958. 42s.

Le volume provient d'une série de résultats tirés d'études de la diffraction électronique des gaz publiées par P. W. Allen et L. E. Sutton en 1949. On trouva qu'un ouvrage plus complet s'imposait, plutôt qu'une simple réédition. C'est pourquoi on trouve ici tous les faits utiles connus avant le 1er janvier 1956 sur les distances interatomiques et la configuration des molécules et des ions.

Il y a une table de longueurs de liaisons choisies donnant les valeurs que l'on pense connaître à ± 0,02 Å près, ou moins, des tables de composés organiques et minéraux, des tables de notes bibliographiques indiquant les méthodes de mesure employées et un index classé de composés organiques.

HATCH, L. F.: *Higher Oxo Alcohols*. Pp. IX + 120. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1958. 36s.

La réaction oxo est celle d'une oléfine, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène formant un aldéhyde saturé ayant un atome de carbone de plus que l'oléfine originale. Le volume passe en revue la documentation relative au procédé — la réaction complète aboutissant à un alcool à partir d'une oléfine — et donne des renseignements complémentaires sur les propriétés et l'utilisation des oxo-alcools supérieurs.

HALE, L. J.: *Biological Laboratory Data*. Pp. XX + 132. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1958. 15s.

On trouve ici les renseignements mathématiques, physiques et chimiques si souvent nécessaires au biologiste de recherche, ainsi qu'un choix de modes opératoires. Les renseignements comprennent des tables, des formules algébriques et géométriques, des notes sur la tension de vapeur, le *p*H et les tampons. Il y a la préparation de milieux salins, d'eau salée et de milieux de culture; la partie histologique renseigne sur la coloration.

NORD, F. F., publié par: *Advances in Enzymology*, Vol. XX. Pp. VII + 488. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1958. $12,50.

Ce volume renferme 20 essais sur des sujets divers, dont la relation possible entre l'activité optique et le vieillissement, le rôle de l'imidazole dans les systèmes biologiques, l'enzymologie des plastides, les antibiotiques et les maladies des végétaux. Il y a un index complet des volumes I à XX, ainsi que des index séparés pour ce dernier volume.

MORTON, J. E.: *Molluscs*. Pp. 232. Hutchinson & Co. (Publishers) Ltd., Londres. 1958. 10s. 6d.

Cet ouvrage présente la morphologie et les fonctions des mollusques telles que les révèlent les travaux actuels. Il étudie la structure fondamentale et l'évolution des six classes de mollusques modernes. Les derniers chapitres traitent de la classification et de la différenciation évolutionnaire des Gastéropodes, Lamellibranches et Céphalopodes.

HARVEY, William: *The Circulation of the Blood*. Pp. XXIII + 184. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford. 1958. 22s. 6d.

Deux essais anatomiques, adressés à Jean Riolan fils, sur la circulation du sang en réponse à une œuvre d'inspiration galéniste modifiée, sont publiés ici en même temps que neuf lettres de Harvey. Les essais et les lettres sont en latin, mais il y a une traduction anglaise légèrement annotée et une courte biographie.

SPORN, Philip, président du comité d'édition: *Electric Technology, U.S.S.R.* Vol. I. Pp. 179. Pergamon Press, Londres. 1958. Abonnement: 400s. par an les 4 volumes.

L'Institut Pergamon fait paraître cette revue faite d'articles tirés d'Электричество (*Electritchestvo*), publication russe qui traite de l'électrotechnique sauf en ce qui concerne la communication par radio et l'électronique. Ce numéro contient la traduction de 16 articles choisis provenant des numéros 1–4 d'*Electritchestvo*.

EISENSCHITZ, R.: *Statistical Theory of Irreversible Processes*. Pp. VIII + 83. Clarendon Press; Oxford University Press, Londres. 1958. 8s. 6d.

Ce livre présente des aspects jusqu'ici non reliés des théories microphysiques de processus macroscopiques irréversibles en tant qu'exemples spéciaux de la théorie générale qui n'a que récemment acquis une base dynamique sûre. Les hypothèses de la théorie sont tirées au clair et rattachées aux phénomènes macroscopiques, rejetant toute spéculation arbitraire. Les déductions mathématiques sont appuyées de raisonnements dans le texte.

FRIEDLANDER, F. G.: *Sound Pulses*. Pp. XI + 202. Cambridge University Press, Londres. 1958. 40s.

Cette monographie traite des perturbations apériodiques à fronts nettement définis, utilisant un traitement basé sur la théorie d'équations linéaires différentielles du genre hyperbolique. Les points traités comprennent les équations de mouvement, les fronts d'ondes et leurs caractéristiques, l'acoustique géométrique et la diffraction d'une impulsion au moyen de coins, sphères ou autres objets.

Notes biographiques sur les collaborateurs

D. J. MALAN
D.Sc., F.R.S.S.Af.,

Naquit en Afrique du Sud en 1905. Il étudia à l'Université du Cap et à la Sorbonne, à Paris. Après avoir enseigné la physique aux Universités du Cap et du Witwatersrand, il entra au *Bernard Price Institute of Geophysical Research* en 1946 pour y étudier à titre permanent l'électricité atmosphérique. Il fait des travaux avec B. F. J. Schonland sur la foudre depuis 1931 et a publié de nombreux articles sur le sujet.

W. A. SMEATON
Ph.D., A.R.C.S., F.R.I.C.,

Etudia à l'Université de Londres. Il obtint ses diplômes de chimie en 1945 et, de 1946 à 1958, enseigna la chimie minérale au *Northern Polytechnic* de Londres. Depuis 1952, il fait aussi des recherches sur l'histoire de la science à *University College*, Londres, et il est maintenant associé de recherches à l'Institut d'Histoire des Sciences et des Techniques de l'Université de Paris. Il s'intéresse surtout à la science en France à la fin du XVIIIe siècle.

J. A. STEERS
M.A.,

Naquit à Bedford en 1899 et fit ses études à *St Catharine's College*, Cambridge. En 1922, il revint à Cambridge comme préparateur étudiant, fut élu Fellow de St Catharine's en 1925 et y occupa plus tard les postes de Directeur d'études, Doyen et Recteur. Il fut nommé préparateur universitaire en 1926 et maître de conférences en 1927, succédant à la chaire de géographie en 1949. Il s'intéresse particulièrement à la physiographie côtière de la Grande-Bretagne et a aussi étudié les côtes tropicales de la Jamaïque et du Queensland. Il fait en ce moment un séjour d'un an à Berkeley Campus, à l'Université de Californie.

E. T. HALL
M.A., D.Phil.,

Naquit en 1924 et étudia à *New College*, Université d'Oxford où il passa ses diplômes de chimie en 1953. Il obtint ensuite son doctorat de physique au *Clarendon Laboratory*, ou il étudia la fluorescence primaire et secondaire des rayons X. Il dirige le Laboratoire de recherches archéologiques d'Oxford depuis sa fondation en 1954–55. Il y a organisé des travaux sur la mise au point de techniques spéciales des rayons X, de l'émission optique, de la spectroscopie des rayons γ, de la détermination magnétique de l'âge, et de la magnétométrie des protons, dans le but de résoudre certains problèmes d'archéologie.

SIR HAROLD SPENCER JONES
K.B.E., M.A., Sc.D., D.Phil., Ll.D., F.R.S., F.R.S.E.,

Naquit à Londres en 1890 et étudia à *Jesus College*, Cambridge. Il occupa le poste d'Astronome de Sa Majesté de 1923 à 1933 au Cap de Bonne Espérance et celui d'Astronome Royal de 1933 à 1955. Il a reçu la médaille royale de la *Royal Society*, la médaille d'or de la *Royal Astronomical Society*, la médaille Janssen de la Société astronomique de France et la médaille d'or Bruce de l'*Astronomical Society of the Pacific*. Il est *Fellow* honoraire de *Jesus College*, Cambridge, ancien président de la *Royal Astronomical Society*, de la *British Astronomical Association*, de l'*Institute of Navigation*, et de l'Union astronomique internationale. Il est aussi membre étranger de nombreuses académies nationales et membre honoraire de nombreuses sociétés astronomiques du Commonwealth et de l'étranger. De 1956 à 1958 il était Secrétaire général du Conseil International des Unions Scientifiques.

F. C. FRASER
D.Sc., F.L.S.,

Naquit en 1903 en Ecosse et fit ses études à l'Université de Glasgow. Après un stage de préparateur d'un an au Département de Géologie, il prit part à l'Expédition du *Discovery* et servit successivement en qualité de zoologiste dans les vaisseaux *William Scoresby*, *Discovery* et *Discovery II* au cours d'expéditions dans les régions antarctiques pour étudier la biologie des baleines. Fut nommé Conservateur Adjoint au Département de Zoologie du *British Museum* (Histoire naturelle) en 1933. A écrit des articles sur le krill (nourriture des baleines) et, parfois en collaboration avec P. E. Purves, sur divers aspects de la taxonomie et de l'anatomie des cétacés. Il est aussi coauteur avec J. R. Norman d'articles sur les poissons géants, les baleines et les dauphins.

P. E. PURVES

Naquit à Edimbourg en 1915. Entra au *British Museum* (Histoire naturelle) en 1934 après avoir étudié les sciences naturelles à l'Université de Londres. Il est l'auteur d'un certain nombre d'articles sur l'utilisation des plastiques en technologie muséologique et anatomique. Il a écrit aussi, en collaboration avec F. C. Fraser, plusieurs articles sur l'anatomie et la physiologie des baleines et a découvert la méthode du «bouche-oreille» pour déterminer l'âge des baleines à fanons.

I. LEHMANN
Cand. Mag., Mag. Scient., A.R.A.S.,

Naquit à Copenhague en 1888. Elle passa ses diplômes de mathématiques en 1920 et de géodésie en 1928 à l'Université de la ville et étudia les mathématiques à Newnham College, Cambridge de 1910 à 1911. De 1923 à 1927, fut assistante du professeur de mathématiques actuarielles à l'Université de Copenhague et du Directeur de *Gradmaalingen*, Copenhague, de 1925 à 1928. Elle dirigea de 1928 à 1953, le Département de Sismologie de l'Institut géodésique danois où elle était responsable du fonctionnement des postes sismologiques de Copenhague, Scoresby-Sund et Ivigtut. Elle a écrit un certain nombre d'articles de sismologie. Elle est un des fondateurs de la Société géophysique danoise, dont elle a été présidente de 1941 à 1944. Elle a coopéré activement à la formation de la Commission européenne de Sismologie en 1951, dont elle est membre depuis cette date.